

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局



(43)国際公開日
2002年6月27日 (27.06.2002)

PCT

(10)国際公開番号
WO 02/49797 A1

(51)国際特許分類?: B23K 35/14, H01L 21/52

(21)国際出願番号: PCT/JP01/11152

(22)国際出願日: 2001年12月19日 (19.12.2001)

(25)国際出願の言語: 日本語

(26)国際公開の言語: 日本語

(30)優先権データ:
特願2000-393267
2000年12月21日 (21.12.2000) JP

(71)出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社 日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒101-8010 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 Tokyo (JP).

(72)発明者: および

(75)発明者/出願人(米国についてのみ): 曽我太佐男 (SOGA,Tasao) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市

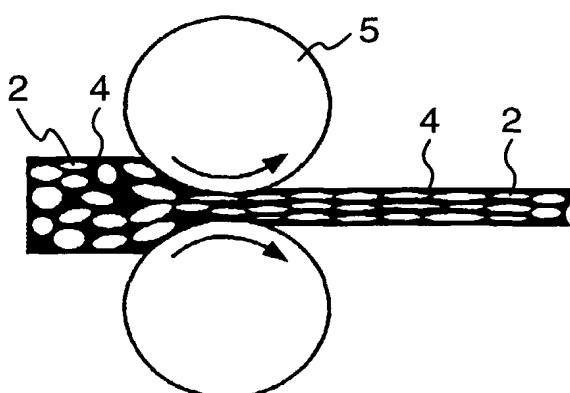
戸塚区吉田町292番地 株式会社 日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 秦英恵 (HATA,Hanae) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社 日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 石田寿治 (ISHIDA,Toshiharu) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社 日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 中塚哲也 (NAKATSUKA,Tetsuya) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社 日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 岡本正英 (OKAMOTO,Masahide) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社 日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 三浦一真 (MIURA,Kazuma) [JP/JP]; 〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社 日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP).

(74)代理人: 浅村皓, 外 (ASAMURA,Kiyoshi et al.); 〒100-0004 東京都千代田区大手町2丁目2番1号 新大手町ビル331 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54)Title: SOLDER FOIL AND SEMICONDUCTOR DEVICE AND ELECTRONIC DEVICE

(54)発明の名称: はんだ箔および半導体装置および電子装置



(57)Abstract: Solder foil formed by rolling metal particles such as Cu particles and a material containing Sn particles as solder particles is suitable for high-temperature-side solder-joining in a temperature-step solder-joining, and a semiconductor device and an electronic device obtained by using such solder joining are excellent in mechanical characteristics and reliability.

(57)要約:

金属粒子としてCu等の粒子と、はんだ粒子としてSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したはんだ箔は、温度段層接続における高温側のはんだ接続を実施することに適し、このようなはんだ接続を用いて得られる半導体装置、電子装置は機械的特性等に優れ信頼性に優れている。

WO 02/49797 A1



(81) 指定国(国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 國際調査報告書

(84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドノート」を参照。

明細書

はんだ箇および半導体装置および電子装置

5 技術分野

本発明は金属粒子例えば銅 (Cu) 粒子又はボールとはんだ粒子例えば錫 (Sn) 粒子又はボールを含む材料を圧延して形成されたはんだ箇、及びそれを用いた半導体装置および電子装置に関する。

背景技術

10 Sn-Pb系はんだにおいては、高温系はんだとして鉛 (Pb) リッチのPb-5Sn (融点 : 314~310°C) 、 Pb-10Sn (融点 : 302~275°C) 等を330°C近傍の温度ではんだ付けし、その後、このはんだ付け部を溶かさないで、低温系はんだのSn-37Pb共晶 (融点 : 183°C) で接続する温度階層接続が可能であった。これらのはんだは、柔軟で変形性に富み、このため破壊し易いSiチップ等を熱膨張係数の異なる基板
15 に接合することができた。このような温度階層接続は、チップをダイボンドするタイプの半導体装置や、チップをフリップチップ接続するBGA, CSPなどの半導体装置などで適用されている。即ち、半導体装置内部で使用するはんだと、半導体装置自身を基板に接続するはんだとは温度階層接続されていることを意味する。

現在、あらゆる分野において鉛フリー化が進んでいる。

20 Pbフリーはんだの主流はSn-Ag共晶系 (融点 : 221°C) 、 Sn-Ag-Cu共晶系 (融点 : 221~217°C) 、 Sn-Cu共晶系 (融点 : 227°C) になっている。表面実装におけるはんだ付け温度は部品の耐熱性から低いことが望ましいが、信頼性確保のためぬれ性を確保する必要性から、均熱制御に優れた炉を用いても、基板内の温度ばらつきを考慮すると、一番低い温度で可能なSn-Ag-Cu共晶系で235~245°Cくらい
25 が実情である。従って、このはんだ付け温度に耐えられる階層用はんだとしては、融点が少なくとも250°C以上である必要がある。現状で、これらのはんだと組合せて使用できる高温側の温度階層用Pbフリーはんだはない。最も可能性のある組成として、Sn-5Sb (融点 : 240~232°C) はあるが、溶けてしまうので温度階層用にはならない。

また、高温系のはんだとしてAu-20Sn（融点：280°C）は知られているが、硬く、コスト高のために使用が狭い範囲に限定される。特に、熱膨張係数の異なる材料へのSiチップの接続、大型チップの接続では、Au-20Snはんだは硬いため、Siチップを破壊させる可能性が高いため使用されていない。

5 発明の開示

本発明の目的は、全く新規なはんだ接続による半導体装置および電子装置を提供することにある。特に、温度階層接続における高温側のはんだ接続を実現することにある。

また、本発明の他の目的は、全く新規なはんだ箔を提供することにある。

10 本発明は金属粒子、例えばCu粒子又はボールとはんだ粒子、例えばSn粒子又はボールを含む材料を圧延して形成されたはんだ箔を提供する。

本発明はまた第一の電子装置と、第二の電子装置と、第三の電子装置を有する電子装置であって、該第一の電子装置と該第二電子装置は、上記に記載された第一のはんだ箔により接続され、該第二の電子装置と該第三の電子装置は該第一のはんだより融点の低い第二のはんだにより接続されていることを特徴とする電子装置を提供する。

本発明は更に半導体チップと、該半導体チップが配置されるタブと、外部との接続端子となるリードとを備え、該半導体チップの有する電極と該リードとがワイヤボンディングにより接続された半導体装置であって、

20 該半導体チップと該タブは上記の金属粒子とはんだ粒子とを混合して得られたはんだ箔により接続していることを特徴とする半導体装置を提供する。

図面の簡単な説明

図1は複合ボールで作る複合体金属の製作工程を示す図である。

図2は弾性体のプラスチックボールを分散させた状態の圧延前、後の断面モデルの図である。

図3はダイボンドプロセスの一例を示す断面モデルの図である。

図4はCu、Sn配合はんだ箔によるダイボンド接続部の断面モデルの図である。

図5はLSI、キャップを基板に接続する断面モデルの図である。

図6はパワーモジュールの断面モデルの図である。

図7はモジュールをプリント基板に実装した断面モデルの図である。

図8はRFモジュール実装の断面のモデルの図である。

図9はRFモジュール実装のプロセスを示すフローチャート図である。

図10は高出力樹脂パッケージの平面、断面モデルの図である。

5 図11は高出力樹脂パッケージのプロセスを示すフローチャート図である。

図12はプラスチックパッケージの断面モデル図である。

図13は金属繊維を用いて配合したモデルの斜視図、断面図である。

図14はクロス金属繊維を用いたモデルの斜視図である。

図15は金網繊維を用いたモデルの断面図である。

10 図16は細長い金属繊維をランダムに置いて平坦化した平面図、断面図である。

図17は短冊金属、非金属繊維を用いたモデルの断面図である。

念のため、図面中の参照番号の説明を加える。

1 … カーボン治具 2 … Cuボール 3 … Snボール 4 … Sn 5 … ロール

6 … プラスチックボール 7 … 抵抗加熱体ツール 8 … Siチップ

15 9 … 真空吸引穴 10 … 窒素 11 … はんだ箔 12 …シリコーンゲル

13 … Al₂O₃基板 14 … W (焼結) -Cuめっき電極 15 … 予熱用ヒータ

16 … 温度測定用熱電対 17 … Cu, Sn混合箔 18 … バンプ

19 … 軟らかい樹脂 20 … リード 21 … はんだボールバンプ

22 … プリント基板 23 … Alフィン 24 … フィンとの接合部

20 25 … リードとの接合部 26 … リード 27 … はんだ箔 28 … 基板の端子

29 … モジュール基板 30 … 端子 31 … Cu 32 … 有機基板

33 … Cuスルーホール導体 34 … Ag-Pd導体 35 … ワイヤボンド

36 … AlN中継基板 37 … 接続端子 38 … Cr-Cu-Au 39 … ダイボンド

40 … はんだ箔 41 … 加圧体 42 … Ni-Auめっきメタライズ層

25 43 … 中継基板 44 … Cr-Ni-Auメタライズ層 45 … 化学Niめっき

46 … 電気Niめっき 47 … はんだ 48 … Cuディスク 49 … Cuベース

50 … Al₂O₃絶縁基板 51 … Cuリード 52 … チップ部品 53 … Cuパッド

54 … TQFP-LSI 55 … Sn-Ag-Cu系はんだ 56 … リード 57 … ダム切断部

58 … 樹脂 59 … スルーホール 60 … W-Ni-Au厚膜電極

6 1 …W-Ni (もしくはAg-Pd、Ag) 厚膜導体 6 2 …Auめっき電極
6 3 …かしめ部分 6 4 …熱拡散板 (ヘッダ) 6 5 …リードフレーム
6 6 …タブ 6 7 …導電ペースト 6 8 …はんだ 6 9 …繊維
7 0 …Cu網 (横断面) 7 1 …Cu網 (長手断面) 7 2 …はんだ (海)
5 7 3 …細長い繊維 7 4 …短冊繊維

発明を実施するための最良の形態

上記目的を達成するために、本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次の通りである。

- (1) 金属の粒子とはんだの粒子を含む材料を圧延して形成したはんだ箔である。
- (2) Cuの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したはんだ箔である。
- (3) CuとSnを有するをはんだに圧力を加えて形成したはんだ箔であって、Cuは粒子の状態であり、Snは該Cu粒子の間を埋める状態であるものである。
- (4) 前記(2)または(3)に記載のはんだ箔であって、該はんだ箔をリフローさせるとCu粒子の表面の少なくとも一部はCu₆Sn₅により覆われるものである。
- (5) 前記(2)または(3)に記載のはんだ箔であって、Cu粒子と塑性変形後のSnは該はんだ箔をリフローさせるとCu₆Sn₅を含む化合物により結合されるものである。
- (6) 前記(2)から(5)に記載のはんだ箔であって、Cu粒子の粒径は10～40 μmであるものである。
- (7) 前記(2)から(5)に記載のはんだ箔であって、Cu粒子の粒径は3～10 μmであるものである。
- (8) 前記(2)から(7)に記載のはんだ箔であって、前記Cu粒子の表面にNiめっきもしくはNi/Auめっき層を有するものである。
- (9) 前記(2)から(9)に記載のはんだ箔であって、該箔の少なくともCuが露出している部分をSnめっきするものである。
- (10) 前記(1)から(9)に記載のはんだ箔であって、該はんだ箔の厚さが80 μmから150 μmであるものである。

(11) 前記 (1) から (9) に記載のはんだ箔であって、該はんだ箔の厚さが 150 μm から 250 μm であるものである。

(12) 前記 (1) から (11) に記載のはんだ箔であって、プラスチック粒子を有するものである。

5 (13) 前記 (2) または (3) に記載のはんだ箔であって、前記 Cu よりも熱膨張係数が小さい他の粒子を有するものである。

(14) 前記 (2) または (3) に記載のはんだ箔であって、前記 Cu よりも熱膨張係数が小さい他の粒子はインバー (Invar) 合金系、シリカ、アルミナ、AlN (窒化アルミニウム) 、SiC の粒子であるものである。

10 (15) 前記 (2) または (3) に記載のはんだ箔であって、さらに In の粒子を含むものである。

(16) 前記 (2) または (3) に記載のはんだ箔であって、Cu 粒子と Sn 粒子を真空中、還元性雰囲気中もしくは不活性雰囲気中で混合し、その後圧力をかけることにより箔状にしたものである。

15 (17) 前記 (2) または (3) に記載のはんだ箔であって、圧延率が 15% から 20% であるものである。

(18) 金属繊維とはんだ粒子を含む材料を圧延して形成したはんだ箔である。

(19) Cu の金属繊維と Sn の粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したはんだ箔である。

20 (20) 前記 (19) に記載のはんだ箔であって、該はんだ材料のうち、該 Cu の金属繊維は短冊状であるものである。

(21) Al、Au、Ag のいずれかの粒子と Sn の粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したはんだ箔である。

25 (22) Zn—Al 系合金、Au—Sn 系合金の粒子と Sn の粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したはんだ箔である。

(23) 第一の電子装置と、第二の電子装置と、第三の電子装置を有する電子装置であって、該第一の電子装置と該第二電子装置は、前記 (1) から (22) に記載の第一のはんだ箔により接続され、該第二の電子装置と該第三の電子装置は該第一のはんだより融点の低い第二のはんだにより接続されているものである。

(24) 第一の電子装置と第二の電子装置をCuの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したはんだ箔で接続し、該第二の電子装置と第三の電子装置を該はんだ箔よりも融点の低いはんだで接続した電子装置である。

(25) 半導体チップと、該半導体チップが配置されるタブと、外部との接続端子となるリードとを備え、該半導体チップの有する電極と該リードとがワイヤボンディングにより接続された半導体装置であって、該半導体チップと該タブは金属粒子とはんだ粒子とを混合したはんだ箔により接続されているものである。

(26) 前記(25)に記載の半導体装置であって、前記はんだ箔は金属粒子とはんだ粒子とを混合した材料を圧延して形成されたはんだ箔であるものである。

10 (27) 前記(25)に記載の半導体装置であって、前記はんだ箔はCuの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成されたはんだ箔であるものである。

(28) 回路基板と、半導体チップとを備え、該回路基板の有する電極と該半導体チップの有する電極とをワイヤボンディングにより接続した電子装置であって、該回路基板と該半導体チップは金属粒子とはんだ粒子とを混合したはんだ箔により接続されているものである。

15 (29) 回路基板と、半導体チップとを備え、該回路基板の有する電極と該半導体チップの有する電極とをワイヤボンディングにより接続した電子装置であって、該回路基板と該半導体チップはCuの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成されたはんだ箔を用いて接続されているものである。

20 また、はんだにねれる単体金属、合金、化合物もしくはこれらの混合物を含む金属ボールと、Sn、Inのどちらか一つ以上を含むはんだボールとを混合して、隙間を埋めて圧入充填後、圧延したことを特徴とするはんだ箔である。

また、はんだにねれる単体金属、合金、化合物もしくはこれらの混合物を含む金属ボールと、Sn、Inのどちらか一つ以上を含むはんだボールとを混合して、均等圧がかけられる予め圧延し易い型に入れ、隙間のないように均等に圧入させて埋め込んだ後、該複合体を圧延して作製したはんだ箔である。

また、前記記載のはんだ箔であって、該はんだは、Sn、In以外にAg、Bi、Cu、Zn、Ni、Pd、Au、Sb等のいずれか一つ以上を含むものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、前記金属ボールがCu、Cu合金、Cu₆Sn₅化

合物、Ag、Ag-Sn化合物、Au、Au-Sn化合物、Al、Al-Ag化合物、Al-Au化合物、Zn-Al系はんだ、もしくはこれらの混合物を含むボールであるものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、該圧延箔、もしくははんだ複合材にSnめつき、もしくはSnにBi、In、Ag、Au、Cu、Ni、Pdのいずれか一つ以上を含有した
5 めつきを施したものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、該単体金属、合金、化合物もしくはこれらの混合物を含む金属ボールがぬれない場合は、表面をNi、Ni-Au、Cu、Ag、Sn、Au等のめつき、もしくはこれらの複合めつき、もしくはこれらに更にSn系のめつき等のはんだにぬれるメタライズ層を施したものである。

10 また、前記記載のはんだ箔であって、該単体金属、合金、化合物もしくはこれらの混合物を含む金属ボールの最密充填を考慮した粒度分布であるはんだ箔である。

また、前記記載のはんだ箔であって、複合はんだの剛性低減のため、表面にはんだがぬれるメタライズを施したプラスチックボールを分散させたものである。

15 また、前記記載のはんだ箔であって、複合はんだの熱膨張係数低減のため、単体金属、合金、化合物もしくはこれらの混合物を含む金属よりも低熱膨張係数を有する粒子であり、表面にはんだをぬらすためのメタライズ層、もしくはその上にSn、In等のはんだめつきを施して、分散させたものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、低熱膨張係数を有する粒子として、イン
20 バー合金系(Fe-36Ni合金)、シリカ、アルミナ、AlN、SiC等であるものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、該プラスチックボール素材として、ポリイミド系樹脂、耐熱エポキシ系樹脂、シリコーン系樹脂、各種ポリマービーズもしくはこれらを変成したもの、もしくはこれらを混合したものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、帶、線、ボール、塊状であるものである。
25 また、前記記載のはんだ箔であって、前記金属ボールの代わりに金属繊維もしくは銅めつきしたカーボン、ガラス、セラミック等の繊維を用いたもの、もしくは該金属繊維の中に該金属ボールを分散混合したもの用いたものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、前記金属ボールの代わりに金属繊維もしくは銅めつきしたカーボン、ガラス、セラミック等の繊維をクロスに重ねたこと、

もしくは該クロスの纖維と該金属ボールを分散したものを用いたものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、前記金属ボールの代わりに金属纖維もしくは銅めっきしたカーボン、ガラス、セラミック等の纖維を網状にしたもの用いたもの、もしくは該網に該金属ボールを分散したものである。

5 また、前記記載のはんだ箔であって、該纖維の径として1~20 μm 、望ましくは3~15 μm であるものである。

また、前記記載のはんだ箔であって、該金属ボールの代わりに金属短纖維もしくは銅めっきしたカーボン、ガラス、セラミック等の短纖維を用いたこと、もしくは該短纖維に該金属ボールを分散したものを用いたものである。

10 また、前記記載のはんだ箔であって、該短纖維の径として1~10 μm 、望ましくは1~5 μm 、アスペクト比（長さ／径）：2~5であるものである。

なお、Cu等の金属ボールとSn系はんだボールとを約50%づつ配合して圧延すると、Cu粒子同志が接触し、Snはその隙間に入り込んだ複合はんだが得られる。この箔をチップと基板間に挟んで加圧、リフローすると複合はんだ部はCuボール間がCu-Sn化合物で連結され、該複合はんだ部とチップ及び基板間はCuボールとチップ電極との化合物、Cuボールと基板端子との化合物形成により、280°Cの高温でも接合強度を確保する鉛フリー化した温度階層構造となる。これにより、鉛フリーはんだにおいて、温度階層を設けた接続方法を提供することができる。

ところで、温度階層接続を考えると、既に接続した高温側のはんだは、一部が溶融しても、他の残りの部分が溶融しなければ、後付けのはんだ接続時のプロセスにおいて耐えられる強度を十分に確保できる。我々は、金属ボール（Cu、Ag、Au、表面処理したAl、Zn-Al系はんだ等）とはんだボールとを分散混入したはんだ材料について研究を進めている。このはんだ材料により接続しておけば、例えば、後付けのはんだ接続時のプロセスであるSn-Ag-Cu系はんだによるリフロー炉（最高250°C）を通したとしても、接続部分におけるSnの部分は溶けるが、Cuボール間、Cuボールとチップ間、Cuボールと基板間は融点の高い金属間化合物（Cu₆Sn₅）で接続されているため、リフロー炉（最高250°C）の設定温度では接続は保たれ十分な接続強度を確保することができる。すなわち、Sn-Ag-Cu系はんだに対する温度階層接続を実現することが出来る。なお、この金属間化合物形成

の効果はCu-Snに限らず、Ni-Sn (Ni_3Sn_4) 、Ag-Sn (Ag_3Sn) 等の化合物、Au-Snでも同様である。また、はんだはSnの代わりにInでも同様である。合金層成長速度の違いはあるが、拡散により形成された合金層の融点は高く、形成されれば280°Cで溶けるものではない。

5 このはんだ材料による接続は、完全にはCu同志が拘束されていない状態なので、例えばダイボンド接続に用いても上下、左右に対するある程度の自由度があり、Cuとはんだの中間段階の機械的特性が期待でき、温度サイクル試験でもSnによる耐熱疲労性とCu粒子（ボール）によるクラック進展防止による高信頼性が期待できる。

10 しかしながら、Cuボールとはんだボールとを混合した複合ペーストでは、本来、Sn系はんだはCu上にはぬれ拡がりが少ない性質を持つこと、かつ、Cuをぬらさなければならぬ部分が多く、Cuボールを完全にぬらせるとは限らないこと、更には、Cuとはんだボールとが最初は架橋状態で拘束されているので、はんだが溶けてもその部分が空間となって残るため、ボイドになる確率が高いこと等が我々の
15 研究が進むにつれて明らかとなってきた。このため、このペースト方式は必然的にボイドが多くなるプロセスとなってしまい、接続用途によっては不向きな材料となってしまう。電子部品を実装する際にボイドが抜けば良いが、例えばSiチップのダイボンド、パワーモジュール接合などは面と面とを接続するような形態であるので構造的にボイドが抜けにくい。ボイドが残存すると、ボイドを原因と
20 するクラックの発生や、必要な熱拡散の阻害などの問題を引き起こしてしまう。

そこで、我々は、このはんだ材料を予め圧延し易い形状の型に入れて真空中、還元性雰囲気中もしくは不活性雰囲気中で、全体を均一に圧縮し、Sn系はんだボールを金属ボール間に塑性流動させ、隙間をはんだ（塑性変形後のSn系はんだ）で充填した複合成型体とし、これを圧延することで得られるはんだ箔を用いるこ
25 とした。

例えば、この複合成型体をSiチップなどのダイボンド用のはんだ箔に圧延して作製した場合、Cu-Cu等の金属ボール間は圧縮により接触しダイボンド時には金属ボール間は容易に金属間化合物を形成し、全体が高融点の金属で有機的につながれ、280°Cでも強度を確保することを確認できた。当然のこととして、接続部

分において空隙は真空中で圧縮されて埋まっているので、ボイドの少ない接続が可能である。窒素中での低温ホットプレスを用いると、Cuボール及びSn系はんだボールの粒径が大きい場合（約 $40\mu\text{m}$ ）、Sn系はんだは97%以上の空隙充填率を示すことを確認した。また、箔表面を適度な膜厚のSnめっきを施すことで、酸化が

5 著しい材料でも酸化を防止することはできる。

Cu箔リード同志をこのはんだで接合し、張り合わせたラップ型継手を 270°C で $50\text{mm}/\text{min}$ の引張速度で、せん断引張試験を行ったところ、約 $0.3\text{kgf}/\text{mm}^2$ の値が得られたことにより、高温での強度は十分確保していることも確認した。

本方式ははんだ材料内部の空間を金属ボールで予め埋めてしまう方式であり、
10 その分、ボイドは少なく、従来のはんだ箔の場合と同レベルまたはそれ以下のボイド率となることが予想される（大きなボイドはでき難い構造である。）。従つて、本方式によるはんだでは、大面積ゆえにボイドレス化が重要課題であった、例えばSiのダイボンド、パワーモジュール接合等に対して好適な鉛フリー材料（鉛を積極的に含んでいない）となる。すなわち、温度階層接続などに好適な高
15 信頼の高温鉛フリー材料を提供することが出来る。

更に、ペースト方式では酸化しやすいためフラックスレス化が困難であったが、これにより解決することもできる。すなわち、フラックス残さを嫌う分野においては、ペースト方式で接続した後、フラックスの洗浄が必要であったが、フラックスレス化により洗浄レス化が可能になる。

20 この他、望ましい融点を持つ硬い、剛性の強いはんだ、例えばAu-20Sn, Au-(50~55)Sn（融点： $309\sim370^\circ\text{C}$ ），Au-12Ge（融点： 356°C ）等の場合でも、これらを金属ボールとして使用し、さらに軟らかい、弾性のあるゴム粒子をSn, In等の軟らかいはんだボールとともに分散混入させることにより、金属ボールを使用するはんだの固相線温度が約 280°C 以上をもつことで、高温での接続強度を有
25 し、変形に対しては粒子間にある軟らかいSnもしくはInもしくはゴムが緩和することができ、これらのはんだの弱点を補完する新たな効果が期待できる。

以下、本発明の実施の形態について説明する。

図1は複合ボール（金属ボール、はんだボール）で作る複合体金属の製作工程の概略を示し、(a)は真空ホットプレスのカーボン治具1中に金属ボールであ

るCuボール2と、はんだボールであるSnボール3を入れた状態で、(b)は真空ホットプレス後のはんだが塑性流動した後の複合ボール塊の断面形状モデルで、SnとCuは「海島構造」に変形している。(c)はその複合ボール塊を更にロール5で圧延し、はんだ箔を作製しているモデルである。

5 図では、10～40 μmのCuボールと10～40 μmのSnボールとを体積比でCuボールが50～60%になるように配合した。Cuボールに対しては更に微細粒を入れて、最密充填配合（例えば、三輪茂雄；粉体工学通論、P39、1981/2/5、日刊工業新聞社）することによりCuボール間の接触を多くすることは可能である。最密充填ならば理論上Cuの体積比率は約74%になり、はんだは26%になる。また、10 μm以下の微細粒にしても可能であり、合金層のネットワークが細かくなり、高密度で、
10 フайнな接続に向いている。一例として3～8 μmのCuボールと10～40 μmのSnボールの場合、3～10 μmのCuボールと10～40 μmのSnボールの場合、あるいは5～15 μmのCuボールと10～40 μmのSnボールの場合、箔のはんだ充填密度は下がるが、接続は良好な結果が得られている。なお、CuボールおよびSnボール等の径（大きさ）については、必ずしもすべての粒子が開示された大きさに含まれるというものではなく、発明の効果に影響のない範囲において、開示された大きさよりも、大きい又は小さいボールが含まれていても良いことは言うまでもない。これらのボールは窒素中で混合され、図1(a)に示すカーボン治具でできた圧力容器の中に入れる。真空引きした後、時間をかけて周囲から均一に圧力をかけていくと、
15 Snのみが塑性変形しながらCuボール間の隙間を埋めていく。Snの融点は232°Cであるが、室温でも時間をかけることで流動させることは可能である。室温で隅々まで流動させることが出来ない場合、若干(100～150°C)、温度を上げることで、容易に可能となる。この工程ではCuとSnとは反応しない程、界面での拘束がないので自由度が上がりSnは変形（流動）し易くなる。そして、この真空ホットプレ
20 ス等で形成された複合ボール塊は、更にロール5で圧延されはんだ箔を得る。圧延することで、よりCuボール間の隙間がなくなり、結果としてボイドの少ないはんだ箔を形成することが出来る。なお、前述の複合ボール塊は、この場合、150 μm (±10 μm) 厚さのはんだ箔作製を目的としているので、それに近い形状の型に予めしておくことが圧延率を下げられることから望ましい。圧延率を上げる
25

と、Cu同志の接触部が増えるので、接触面積向上による拘束が増す。従って、温度サイクル等の変形に対応する柔軟性を持たすことを考慮すると、接触部を少なくすることが望ましく、最終的な圧延率は20%以下が好ましい。さらに圧延率は15～20%がより好ましい。

5 なお、形成したはんだ箇で、Cu等が露出している場合は、更にSnを0.5～2 μm の厚さにめっきすることで、露出部のCuの酸化を防止することが好ましい。

作りやすさ、配合時に均一分散し易いこと、扱い易さ等の点では金属ボール、例えばCuボール及びはんだボールは球状であることが好ましいが、必ずしも球状である必要はない。Cuボール表面の凹凸が激しいもの、棒状、針状、纖維状、角状であるもの、樹枝状で合っても良く、また、これらを組合せたものでも良く、接合後にCu同志が絡み合えば良い。ただし、上記の圧縮によりCu同志で拘束されすぎて自由度がきかなくなると、はんだ付け時にクッション性なくなり、接続不良が生じ易くなるのであれば、ボール状よりもCuボールは表面に凹凸が激しいものの、棒状、針状、纖維状、角状であるもの、樹枝状のもの、またはこれらを組合せたものが好ましい。そして、図2に示すように、Cu 2、Sn 3 ボール以外に、耐熱性の軟らかい弾性体であるメタライズした（無電解Niめっき-Auめっき、もしくは無電解Niめっきーはんだめっき）プラスチックボール（ゴム）6を分散させ低ヤング率化してクッション性を確保することも出来る。図2 (a) は圧延前、(b) は圧延後を示す。樹脂ボール径は理想的には10 μm以下、望ましくは1 μmレベルが良い。例えば0.5～5 μmが望ましい。配合量としては体積で数%でも効果がある。

本発明において「金属」「はんだ」について「粒子」「ボール」と二つの用語を用いているが、両者は、上記の説明からわかるようにほぼ同意義で用いている。強いて区別をつけるとすれば、「粒子」は「ボール」を包括したやや広い意味で用いている。

次に、他の金属ボールの例としてAlを使用する場合を説明する。

高融点の金属は一般に硬いが、低コストで柔らかい金属として純Alがある。純Al (99.99%) は柔らかい (Hv17) が、通常はSnにぬれにくい。従って、Ni-Auめっき、もしくはNi-Snめっき等を施すことが好ましい。Al表面にスパッター等で

薄くAuを被覆しても良い。柔かい純Alの微細粒を作るのが爆発等の安全性の問題で困難を伴うが、不活性雰囲気で製造し、即、表面にNi-Auめっきを施すことで、大気中にAlを接触させないことで安全性を確保できる。なお、Al粒子は多少の酸化膜を形成しても、めっき処理で除去できるので問題はない。更には、圧延工程
5 でもAlの酸化膜は破壊され易いのでAlの新生面があるので、接続にはそれほど影響されない。なお、Al表面へのメタライズ層としてこれらに限定されるものでなく、はんだ箇を作製後、該はんだがCu、Ni等に対してぬれて、高温で接合強度を確保することが必要である。このため、Al粒子とNiめっきCu板間、及びAl粒子とSiチップのNiめっき間でAl粒子上のメタライズ層とNiとのSn化合物形成で連結
10 することが必要である。

複合ボール塊を得るに当たって、Alは真空中であって特に高温で拡散し易いので、Ag入りのSnはんだを使用する等でAlとの化合物を形成することができる。Ag以外にAlに反応し易いようにSnの中に微量のZn、Cu、Ni、Sb等を入れてAl接続用のはんだとすることでも良い。Snの中に微量のAg、Zn、Cu、Ni、Sb等を入れる場合、Al表面へのメタライズ層は不要であり、コスト上でのメリットは大きい。
15

Al表面を完全にぬらす場合と、まだら状にぬらすこともできる。これはメタライズ層の領域と関係し、さらにメタライズ層を形成するか全体に形成するかによる。まだら状にすれば応力がかかった場合、変形時に拘束が小さくなることから変形し易く、かつ、ぬれていらない部分は摩擦損出としてエネルギーを吸収してくれる所以、変形能に優れた材料となる。当然、接合強度は確保される。
20

Alをボール状にする代わりに、20～40 μm位のAl線にSn、Ni-Sn、Au等のめっきを施し、切断して粒状、棒状にしたものを使用することも可能である。なお、ボール状のAl粒子は窒素中でアトマイズ法などで低成本で多量に製造することができる。

25 次にAuボールについて説明する。

複合ボール塊を得るに当たって、AuボールについてはSn系はんだは容易にぬれるので短時間の接続ならばメタライズ層の必要はない。但し、はんだ付け時間が長いと、Snが顕著に拡散し、脆いAu-Sn化合物の形成に不安が残る。このため、柔らかい構造とするにはAu拡散の少ないInめっきなども有力であり、Ni、Ni-Au等

をバリアにしても良い。バリア層は極力薄くすることで、Auボールが変形し易くなる。Auとの合金層成長が抑えられるメタライズ構成であれば、他の構成でも良い。圧延までは温度を抑えることで拡散を抑えられる。ダイボンドで短時間で接合させる場合、粒界に生ずる合金層は薄いので、バリアを設けなくてもAuの柔軟

5 性による効果は大いに期待できる。AuボールとInはんだボールの組み合わせも可能である。

次にAgボールについて説明する。

Agボールについても、Cuボール同様であるが、 Ag_3Sn 化合物の機械的性質は悪くはないので、通常プロセスでAg粒子間を化合物で連結することも可能である。

10 Cu等の中に混ぜた使用も可能である。

次に金属ボールとして合金材料を使用する場合を説明する。

合金系の代表例としてZn-Al系、Au-Sn系等がある。Zn-Al系はんだの融点は330～370°Cの範囲が主で、Sn-Ag-Cu、Sn-Ag、Sn-Cu系はんだとの階層接続を行うには適した温度域にあり、これらを金属ボールに使用することが出来る。Zn-Al系

15 の代表例として、Zn-Al-Mg、Zn-Al-Mg-Ga、Zn-Al-Ge、Zn-Al-Mg-Ge、更にはこれらにSn、In、Ag、Cu、Au、Ni等のいずれか一つ以上を含有したものを含む。

しかしながら、Zn-Al系は酸化が激しいこと、はんだの剛性が高いこと等のため、Siを接合した場合Siチップに割れを起こす恐れが指摘されており（清水他：

「ダイアタッチ向けPbフリーはんだ用Zn-Al-Mg-Ga合金」Mate99, 1999-2）、單20 に複合ボール塊の金属ボールとして使用するとこれらの課題を解決しなければならない。

そこで、これらの課題をクリアする必要から、はんだの剛性を下げるために、Ni-はんだめっきもしくはAuめっきを施した耐熱性のプラスチックボールをSnボ

ールとZn-Al系ボールとともに均一に分散させて、ヤング率の低減を図ることが25 できる。Snボールは全体の10～50%混入すると、Zn-Al系はんだ間に溶融したSnが入り込む。この場合、一部はZn-Alボール同志が接合されるが、他の部分は主に

析出した低温の柔らかいSn-Zn相や、溶解しないSnが存在する。変形はこのSn、Sn-Zn相とプラスチックボールのゴムが分担する。

実際にこのはんだ箔を用いて接続する場合、例えばダイボンドした場合もその

後に一部Sn層を残すことにより、Snにより変形を吸収することができる。プラスチックボールとSn層との複合作用により、更に剛性を緩和することが期待できる。なお、この場合も、Zn-Al系はんだの固相線温度は280°C以上を確保しているので、高温での強度上の問題はない。

5 プラスチックボールはZn-Al系ボールに比べて径を小さくし、均一に分散させることが望ましい。変形時に柔らかい弾性を有する1 μmレベルのプラスチックボールが変形すれば、熱衝撃緩和、機械的衝撃緩和の効果は大きい。プラスチックボールとして市販品の耐熱性のものがある。Zn-Al系はんだのボール間にプラスチックボールがほぼ均一に入るので、接続時の短時間の溶融ではこの分散は大き
10 くくずれない。この耐熱樹脂は熱分解温度が約300°Cなので、更に耐熱性のある材料が望ましいが、時間の短いダイボンドの場合は問題はない。

前述のように、真空中でホットプレスで成型する場合、Snめっきしたプラスチックボール上のSnが溶けない温度（Snの融点：232°C）で均等に圧縮させることで、塑性流動させる。このとき、Zn-Alボールは余り変形しない。均一な圧縮により空間をプラスチックボール、Sn等で均一に充填し、約150 μmに圧延し、はんだ箔を作製する。ダイボンドで使用するときは、ロールに巻いて連続工程で供給することができる。

Zn-Alは酸化され易いので、保管時のこととも考慮すると、表面にCu置換のSnめっきを施すことが望ましい。このSn、Cuは例えばダイボンド時にZn-Al系はんだに溶解する。Snが表面に存在することで、例えば、Cu電極上のNi-Auめっき上への接続が容易となる。Siチップ側も例えば、Ti-Ni-Auメタライズに対しても同様に容易に接合できる。200°C以上の高温下においては、NiとSnとの合金層（Ni₃Sn₄）の成長速度はCu-Sn以上に大であることから、化合物形成が不十分のために接合ができないようなことはない。

25 場合によっては、Zn-Al系はんだボールとプラスチックボールとで複合ボール塊を構成しても良い。

なお、Zn-Al系はんだに、固相線温度が280°Cレベルを確保するレベルまで、Sn、In量を多く加える階層接続は可能である。Sn、In等を多く入れると、一部、Zn-Snの共晶等の低い相が部分的に生成されるが、接合強度は骨格となっているZn-

Al系の固相が担っているので、高温での強度上の問題はない。

ところで、Zn-Al系はんだにCuで置換したSnめっきを施すと、Zn-Al系はんだの液相線温度以上に温度を上げることで、Snは容易にぬれ抜がり、薄いCuを固溶しながらZn-Al系はんだに溶解する。Snが多い（例えば約7%）とZn-Alの中には固5 溶できず、粒界に低温のSn-Zn相を析出してくる。意図的にSn相を多数分散析出させることで、変形はSn-Zn相で、接合強度はZn-Al系の固相で分担させができる。従って、Zn-Al系はんだボールにSnめっきを施し、ボールに固溶できないSn相を意図的に残すことにより、変形をSn層で吸収させ、Zn-Alの剛性を緩和させることもできる。すなわち、接続した部分のはんだの剛性を緩和させること10 ができ、接続不良が少なくなる。

図3は前述のはんだ箔11を用いてAl₂O₃基板13上のW-Cuめっきメタライズ層(Niめっきでも良い)14にSiチップ8をダイボンドする一例を示す。はんだ箔11の代表例として、金属ボールがCuで、はんだがSnの組合せがある。Cuは比較的15 に軟らかく、Snとの反応が活発で、金属間化合物(Cu₆Sn₅)の機械的性質は優れているので、厚く成長しても脆さは出にくい。万一、化合物成長が顕著でその弊害が現れる場合、Sn中にCu等を微量添加して合金層成長速度を抑えることは可能である。またはCu上にNi、Ni-Au等の薄いNiめっきを施すことで合金層成長を抑えることは可能である。ここでは、短時間のはんだ付け時にCuボール間を金属間化合物で確実に連結することが重要であり、反応を活発にすることが望まれるの20 で、成長過剰が問題になることはない。それよりも、Snとチップ及びSnと基板との接続において、Snのぬれ性、ぬれ抜がり性の向上が重要である。このため、Sn中に微量のCu、Bi添加による流動性の向上、表面張力の低減によるぬれ性改良の効果が期待できる。他方、界面との強度向上のため、Ni、Ag、Zn等の微量添加の効果も期待できる。なお、Snの融点向上にはSnの代わりにSn-Sb(5~10%)にす25 ることで、Cu-Sn化合物、Ni-Sn化合物形成ではんだ中のSb濃度が増して、246°Cにはんだの融点を向上させることができる。

他の代表例として、Cuよりも更に軟らかい純Alボールの場合、温度サイクルに対する変形能に優れる。課題はAlボールとチップ、基板のメタライズ層との反応である。Al表面にNiめっきもしくはNi-Auフラッシュめっきを施すことでAlボ一

ル間及びAlボールとNiめっきのチップ間、Niめっきの基板間も同様にSnによる接合強度は確保される。NiとSn間の金属間化合物は通常は Ni_3Sn_4 であり、200°C以上ではCu-Snの成長速度より速いので反応不足の心配はない。CuとNiが同時に介在する個所では一部に $(NiCu)_3Sn_4$ の混合した合金層が形成されることもある。

5 Alボールにはなんだが直接反応できるように、Sn中にAg、Ni、Zn、Ti等を微量添加することにより、Alボール間の接続も接続条件しだいで可能である。

Auのボールに対しても同様な対応が可能である。Auは柔軟でSnとの化合物を形成し易いので、コストの面を除くと有力な組成である。但し、Snが多い系での化合物は融点が低いので、280°C以上の融点を持つためには、Snが55%以下の組成比

10 であるAuSn、AuSn₂の化合物とする必要がある。このため、はんだ付け温度を高くして、接合部はSnが少ない構成にすることが必要であることから、Siチップ側のメタライズに、例えば、Cr-Ni-Snを設けることにより、Au-Sn、AuSnの形成が容易になる。Auボールにコスト低減等を考慮し、Cu、Al、Agボール等を混ぜることも可能である。

15 Agボールも同様に有力候補であり、高融点のAg₃Sn化合物の形成で280°Cでも溶けない連結接続が可能となる。

次に、硬くて、融点の低いZn-Al系ボールへの適用例を示す。Zn-Al系は融点と脆さの点で、一般にAl:3~5%の範囲に落ち着き、更に融点を下げるためMg、Ge、Ga等を入れ、更にSn、Inの添加で主に固相線温度を下げる。そして、ぬれ性、強

20 度確保なため、Cu、Ag、Ni等を入れる場合もある。これらの融点は280~360°Cレベルである。例えば、Zn-4Al-2Mg-1Ag-10Snの場合、はんだボールとしてSnボールを混合すると、両者が溶融してもSnはZn-Al系ボールに一部が固溶する程度で、残りの大部分はSnのままである。また、この場合、はんだに固溶できない余分なSn、In等を粒子の状態で良く分散させてはんだ中に孤立分散させることができる25 ので、同様な効果が期待できる。Zn-Al系ボールにSnめっきを厚く施すこともSnを孤立分散させる一つの解である。

Zn-Al系ボールの場合、はんだ付け時に全体が溶融するので、表面張力の作用などによる表面形状が自然の形状になりやすい等の特徴がある。また、Zn-Al系は表面酸化が激しいので、予熱過程を含めて酸化させない工夫が必要になる。箔

として使用する場合、表面にCu (0~0.2 μm) -Sn (1 μm) めっきを施すことで、酸化防止の効果がある。なお、Zn-Al系ボール間にSnが存在することで、温度サイクル時の変形に対し、Snが緩衝材の役目を果たすが、それでも不充分の場合、微細なSnめっきプラスチックボールのゴムを分散混合することで更に変形性、耐5 衝撃性を向上させることができ、ヤング率は低下し、耐熱疲労性も向上させることができる。

同様に硬く、かつ融点の低い合金系として、Au-Sn系等があるが、同様な対応が可能である。

使用したAl₂O₃基板13にはW (焼結) -Cuめっき (3 μm) 38 (もしくはW-Niめっき) を施した電極が形成されている。セラミック基板として他にムライト、ガラスセラミック、AlN等がある。接続時にフラックスを使用する場合、もしくは予熱段階から不活性雰囲気、あるいは還元雰囲気で使用できるならば、Cu電極のままで良い。

使用したSiチップ8のサイズは5mm□であり、はんだ箇11のサイズは4mm□×15 厚さ0.15mmであるが、チップ寸法の制約はなく、大型チップでも可能である。

後工程の2次リフローに対して、化合物層が高温での強度を確保し、その後の熱疲労に対してはSn系はんだ主に寄与し、一部、応力的に厳しい個所では部分的に弾性結合した個所が最大限の効果を発揮し、（一部耐えないところは破壊するが、）弾性結合がない場合に比べ寿命は向上する。従って、化合物層で強く拘束されたイメージはなく、はんだ中で一部の化合物がネットワーク状に形成すれば良い。大きな歪、応力がかかるチップ周辺部では接合界面で化合物を形成させることで、強固な接続のため破壊が起こりにくくなる。他方、同じ周辺部位置のはんだ箇中央はネットワーク結合が少ないと、最外周部にかかる応力、歪ははんだ箇中央のSnにかかることで、上下の界面部にかかるストレスが緩和できる。

25 まず、Al₂O₃基板13は真空吸引により架台に固定され、Siチップ8も真空吸引9により取付治具となる抵抗加熱体ツール7に保持される。そして、抵抗加熱体ツール7を下降させるなどしてSiチップ8をはんだ箇11を介してAl₂O₃基板13と接触させ、加熱（最高380°C）、加圧（初期に2kgf）により5秒間保持する。なお、温度測定用熱電対16はツールのチップが接触する近くに埋め込んであり、温度コ

ントロールができる構成となっている。

また、はんだ箔11の温度はその融点に達すると、瞬時にははんだ箔のSnなどが溶け、金属ボール間接合に圧力が加わり溶け始める。そこで、金属ボール間接合のつぶれ防止のため、設定温度に達すると抵抗加熱体ツール7をはんだ箔11を加圧した時の位置を起点とし、その位置からはんだ箔厚さに対して約10%（最大20%）以下にし、チップからのはんだのはみ出し量を制御している。はんだ箔の厚さは熱疲労寿命に影響するので、80～150 μm位にするのが一般的である。この、はんだ厚さと、チップ寸法に対するはんだ箔の寸法で、つぶれ量を制御することになる。しかし、本方式はCuが半分入って、しかもネットワーク状に連結されているので熱伝導に優れるので、200～250 μmでも熱的には従来より優れる。

Al₂O₃基板13の予熱15は約100°Cとした。急激な温度上昇、下降は継手に大きなストレスをかけるので、予熱は熱衝撃を緩和させる意味でも重要である。

抵抗加熱体によるダイボンドの場合、接続時ははんだ箔11の酸化を防止するため、局所的に周囲から窒素10を吹き付ける機構としている。また、Siチップ8を吸着する抵抗加熱体ツール7の周囲にも窒素10を吹き付け、常に接合部が50～100ppmレベルの酸素純度に保たれるようにするのが良い。

このはんだ箔であれば、水素炉もしくは窒素等の不活性雰囲気炉で最高270°C前後でSiチップ等のダイボンド、パワーモジュール等の接合も可能である。炉を使用する場合、最高温度はSnの場合260°Cから350°Cまでも可能であるが、化合物の形成状態を考慮した条件選定が必要である。

図4は抵抗加熱体によるダイボンド、及び水素炉もしくは窒素等の不活性雰囲気炉によるダイボンドした代表的な接合部の断面モデルを示す。このようにダイボンドされたチップの上面からワイヤボンド等により基板の端子に繋ぎ、キャップでチップを封止したり、樹脂で封止して、さらには基板の周囲に小型のチップ部品等を接続し（この場合の接続も端子に合った箔を、予めチップ部品の電極等に仮付けしたものを基板に接続させたり、または熱圧着したものを同時にリフロー炉で接続することも可能である）、基板の裏面側等から外部接続端子（通常はSn-3Ag-0.5Cu等のはんだで接合される）をとることにより、モジュールが出来あがる。

Cuボール2同志、Cuボールとチップ側のメタライズ層44（例えばCr-Ni-Au；Auは大変薄いので実質はCu-Sn-Ni間での合金層の形成）、Cuボールと基板側のメタライズ層42（例えばAg-Pd導体にNiめっき；Cu-Sn-Ni間での合金層の形成）、とはそれぞれ合金層がしっかりと形成され、連結状態を確保する。チップ側のメタライズ層の組合せは多様であるが、はんだのSnと反応するのはCuかNiが大部分である。表面層に主に酸化防止のためAuが使用される場合があるが、 $0.1 \mu\text{m}$ レベル以下でSnに固溶し、合金層形成には関与しない。他方、基板側も同様に下地は各種あるが、Snとの反応層はチップ同様NiもしくはCuである。特殊な場合としてAg、Ag-Pt、Ag-Pd、Au-Pd等の厚膜導体等もある。パワーもののダイボンドでは熱伝導の面で、ボイドがあると特性に大きく影響を及ぼすため、ボイドレス化が最重要視される。はんだペーストの場合はフラックスの反応、溶剤の揮発等によりガス量は多いため、ガスが逃げ易い継手構造、例えば細長い端子、小型のSiチップのダイボンド等に適用される。従って、中、大型のSiチップのダイボンドでは、不活性雰囲気で、フラックスレスではんだ箔を用いた抵抗加熱体によるダイボンド、もしくは水素炉もしくは窒素等の不活性雰囲気炉によるダイボンドの使用が一般的である。なお、本発明で作られたはんだ箔中に内蔵するボイドはCu粒径が小さくなると多くなる傾向があるが、構造上粒径以下に細かく分散するため、これまでの大きなボイドのイメージはなく、特性への影響も少ないことが予想される。粒径が $3\sim8 \mu\text{m}$ のCu粒子、Sn粒子を用いた場合、箔でのはんだ充填率は約80%であった（ボイド率20%）。この箔をSnめっきCu板に挟んで窒素雰囲気中でダイボンダーで加圧接合すると、CuボールとCu板間はしっかりと Cu_6Sn_5 の金属間化合物が形成され、しかも、余分なSnははんだ内部のミクロの空間部（ボイド）に吸収されて、良好な接合部が得られることが分かった。断面観察結果でも、接合前の箔の充填率に比べ、接合後の充填率は向上していることが確認された。これより、従来の課題であったボイドの問題は、本方式においてはそれほどの問題にはならないことが分かった。なお、Cu粒子径を $3 \mu\text{m}$ レベルもしくはそれ以下に微細化すると、はんだ付け温度が 300°C 以上の高い温度で接続したり、高温での保持時間が長いとSnとの反応は活発のため、Cu粒子の形は崩れ、Cu-Sn化合物の連結になることもありうるが、耐高温強度等の特性自体は変わらない。特に反応を抑

えたい場合は化学Ni/Auめっき（高温でも化合物が厚く形成されにくい）等を施したり、Ag粒子等を使用することも可能である。Cu粒子が30 μmレベルの粗大な場合、ボイド率は3%以下であり、しかも分散したボイドであることから特性には影響しないボイドと言える。

5 ところで、上記実施例に示した工程で作製したはんだ箔はリールに巻いて切断工程を含めて連続供給できる。従って、温度階層を必要とする部品の封止部、端子接続部の接続に使用する場合は、パンチング加工、レーザ加工等でその形状に合わせたものを用いることができる。そして、その部品の封止部、端子接続部をパルス方式の加圧型ヒートツールで窒素雰囲気下で加熱、加圧することでフラックスレスで接続することができる。予熱時の酸化防止、ぬれ性を確保するため、Snめっきされたはんだ箔が望ましい。ピッチが粗く、端子数が少ない部品の接続などははんだ箔の載置、部品端子の位置決め、パルス電流による抵抗加熱電極による加圧接続などが容易でやり易い。

図5 (a) はフラックスを用いないで、窒素雰囲気中でパルス加熱による抵抗加熱体でチップ8と中継基板36の間に、図5 (c) に示すような前述したはんだ箔39を載せてダイボンドした後、Au線のワイヤボンド35で、チップ上の端子と中継基板36上の端子とを繋ぎ、NiめっきしたAl等のキャップ23と中継基板36の間に箔を載せ、窒素雰囲気中で抵抗加熱体でフラックスレスで封止を行ったBGA、CSPタイプのチップキャリアの断面である。はんだ箔は被接合体に仮固着して接合することもできる。なお、中継基板36は図示しないスルーホールにより上下間の電気的接続、すなわちチップ8と外部接続端子との電気的接続を確保している。本構造は、通常のモジュール構造の代表例であり、図示はしていないが中継基板36上には抵抗、コンデンサー等のチップ部品が搭載されても良い。なお、高出力チップの場合、放熱の効率から熱伝導性に優れるAlN中継基板を使用することが好ましい。このモジュールの外部接続端子のはんだ組成はSn-3Ag-0.5Cuで、端子ピッチが広い場合はボールで供給され、ピッチが狭い場合はペーストで形成される。また、Cu端子もしくはNi-Auめっき端子のままの場合もある。モジュールはこの後、プリント基板上に搭載され、Sn-3Ag-0.5Cuはんだ（融点：217～221°C）ペーストで他の部品と同時に、最高240°Cでリフロー接続されるが、前述の通り、

このリフロー温度でははんだ箇自体の接合は確保されるので、高信頼にプリント基板上に接続することが出来る。すなわち、モジュール実装における接続とプリント基板上の接続とは温度階層接続を実現することが出来る。外部接続端子の形態はさまざまであるが、いずれにせよはんだ箇を用いることで外部接続端子とプリント基板との接続に対して温度階層接続を実現することが出来る。なお、本構造は、基板上に半導体チップをはんだ箇よりダイボンド接続し、半導体チップの端子と基板上の端子とをワイヤボンディングにより接続し、基板の裏面に外部接続端子となるはんだボールを形成した、いわゆるBGAタイプの半導体装置についても適用出来ることは言うまでもない。この場合、チップの搭載面には樹脂モールドが施される。なお、接続部の外周部のぬれ性をより良くするため、パルス加熱による抵抗加熱体で接続後、更に窒素炉もしくは水素炉等でリフローを行うことで良好な継手が形成できる。

図5 (b) は、図5 (a) に示した構造において窒素雰囲気中でNiめっきしたAl フィン23を、中継基板43に箇を載せ、抵抗加熱体でフラックスレスで封止を行った例である。

図5 (b) 左はCuボール、Snボールで作ってパンチングで切り抜いたはんだ箇24で、図5 (b) 右は窒素雰囲気中でパルス加熱による抵抗加熱体41で、はんだ箇40 (左図のB-B' 断面) とNiめっきしたAlフィン23を加熱して中継基板上の端子部 (Ni-Auフラッシュ42) に封止するモデルの断面である。図5 (b) 右の状態で接続した後は図5 (a) の接合部24の形状になる。このはんだ箇も前述同様、図5 (c) に示すようなものを用いた。

なお、水素等の還元雰囲気炉でのフラックスレスのリフロー接続も可能である。また、長期間の絶縁性を確保できるロジンベースのフラックスの場合、腐食の問題はないので洗浄レスのリフロー接続も製品によっては使用が可能である。

ところで、リフローの課題は高融点の金属ボールを用いる場合、はんだ箇の両面で拡散接続をし易くするため、はんだ箇と接続される側とが接触している状態を作ることがポイントであり、加圧して接触させることが好ましいこととなる。従って、仮り付け工程もしくは加圧工程があるプロセスを採用することが好ましい。例えば、リード、部品の電極部に予め圧接等で固着して供給しておくことと

良い。なお、Zn-Al系の場合は全てが溶けるタイプなので、その不安はない。

図6はパワーモジュール接続に適用した例である。Siチップ8は10mm□レベルの寸法を対象にする場合が多い。このため、従来は軟らかいPbリッチ系高温系はんだが使われてきた。Pbフリー化になるとSn-3.5Ag (221°C)、Sn-0.7Cu (227 5 °C) もしくはSn-5Sb (235°C) がある。Sbは環境に対する負荷の問題が有ることを考えると、Sn-3.5Ag、Sn-0.7Cu以外はないのが実情である。Zn-Al系は硬いので、そのままではSiチップ割れを起こす可能性が大である。

この場合のはんだは階層接続用高温はんだと言うよりは、高発熱のため、従来のSn-5Sb等でも信頼性を確保できないため、Pb-5Sn系を使ってきた経緯がある。

10 高Pbはんだに代わるPbフリーのソフトソルダーはないので、本案がその代替となる。車では230°C レベルに達する状態はまれに起る程度が、要求仕様として示されている。更には、260°Cのリフローに耐えられることも要求されている。この複合はんだは260°Cのリフロー時にSnは溶けるが金属間化合物がネットワークで連結されているため、高温での強度は確保されている。なお、220°C レベルの 15 高温に曝す機会がある車等において、高温での瞬時部分溶融防止にはSn系はんだとしてSn-(5~7)%Sbはんだ（融点：236~243°C）ボールを使用することで、SnとCuボール間の反応、Snと基板端子 (Cu, Ni) との反応でSb濃度が10%以上になり、下限温度をSn (232°C) 以上の245°C レベルに上昇させることができる。このため、220°Cになっても部分溶融の心配はなくなる。なお、280°Cでの本方式のせん断強度は1 N/mm²以上を確保している。

他方、Sn-Ag-Cu系はんだはSn-Pb共晶と異なり、強度が高く剛性が強く変形性に劣ることにより、素子、部品等への悪影響が言われている。このため、柔軟性のあるSn-In系、Sn-Cu-In系、Sn-(0~1)Ag-Cu、Sn-(0~1)Ag-Cu-In系等のはんだを用いることで、はんだの融点は200°C レベルに多少下がっても、はんだ自体が 25 変形に対応してくれるので、耐衝撃性が要求される携帯用機器等の実装用の階層はんだとしての応用が期待できる。当然ながら、2次のはんだ付け時に必要な強度はネットワーク状に発達したCuとの化合物連結で高温強度を確保し、特に、最大応力、歪がかかるチップ、部品等の最外周部では基板の界面部ではCuボールとの化合物形成で、界面近傍での破壊を阻止し、はんだ内部で破壊するようなネッ

トワーク形成が望ましい構成である。

そこで、ここではCuボールとSnボールのはんだ箔を使用する。10～30 μmの軟Cuボールと10～30 μmのSnボールを重量比で約1：1に混合して、真空中もしくは還元雰囲気中でSnをCuボール間に塑性流動させ、更に圧延してはんだ箔を作製

5 する。または、3～8 μmの軟Cuボールと3～8 μmのSnボールを重量比で約1：1に混合して、真空中もしくは還元雰囲気中でSnをCuボール間に塑性流動させ、更に圧延してはんだ箔を作製してもよい。この箔を必要な寸法に切りだし、NiめっきしたCuリード51とSiチップとの間、Siチップ8とNiめっき46を施したCuディスク板（もしくはMoディスク板）48との間、Cuディスク板48とWメタライズ上にNiめっき49を施したアルミナ絶縁基板50との間、及び同上のアルミナ絶縁基板50と電気Niめっき46を施したCuベース板49間に、該はんだ箔を搭載し、280°Cの水素炉で一括してリフロー接続した。これにより、Cuボール間、CuボールとCuリード間、Cuボールとチップ間、CuボールとNiめっきCu板間、CuボールとNiめっきアルミナ絶縁基板間、CuボールとNiめっきCuベース間等のCuとNi金属間化合物による接合

10 がなされる。これで接続したものは、既に、耐高温の金属間化合物（Cuの場合はCu₆Sn₅、Niの場合はNi₃Sn₄）で連結されるので、260°C（260°C～280°Cでも可）で強度を保持し、後工程のリフローで問題になることはない。この継手を温度サイクル試験、パワーサイクル試験にかけても、これまでの高Pb入りはんだと同等な寿命を有することを確認できた。

20 更に、Snめっきされたプラスチックボールのゴムを分散させることで低ヤング率化により、より耐熱衝撃性を向上させることができ、より大型Siチップの接合を可能にする。なお、パルス加熱方式のダイボンダーで窒素を吹き付け、最大350°C、5秒間（5～10秒間でも可）で加圧接合する方式でも実装が可能である。また、パルス加熱方式で仮付けし、界面での接触を確実にした後、水素炉で一括してリフローすることで、外周部のぬれ確保、接合界面の接続を確実にすることが可能である。なお、チップ周辺部はスムーズなフィレットを形成することが望ましいので、はんだ箔の外周部にSnだけの層を設けることも可能である。

Cuボールの代わりに、Zn-Al系（Zn-Al-Mg、Zn-Al-Ge、Zn-Al-Mg-Ge、Zn-Al-Mg-Ga等）はんだボールにSn、In等のボール、更にはSnめっきされたプラスチッ

クボールのゴムを分散混入した圧延箔を用いた結果、同様に耐温度サイクル性、耐衝撃性を緩和し、高信頼性を確保することができる。Zn-Al系はんだのみでは硬く（約Hv120～160）、剛性が高いので大型Siチップは、容易に破壊する恐れがある。そこで、一部、ボール周辺に軟らかい低温のSnの層、Inの層が存在することにより、また、ゴムがボールの周囲に分散することにより、変形させる効果がでて剛性を低下させ、信頼性を向上させることができる。

また、低熱膨張フィラー（ SiO_2 、AlN、インバー合金等）にNiめっき、Ni-Auめっきした粒子を混入することで、Si等に熱膨張係数が近づき、作用する応力が小さくなり長寿命化が期待できる。

10 図7は携帯電話等に使用される信号処理用に使われる高周波用R F（Radio Frequency）モジュールをプリント基板に実装した例を示す。

この種の形態は熱伝導性に優れた中継基板に素子裏面をダイボンドし、ワイヤボンドで中継基板の端子部にひきまわされる方式が一般的である。数個のチップと周囲にR、C等のチップ部品を配し、MCM（マルチ・チップ・モジュール）化している例が多い。従来のHIC（Hybrid IC）、パワーMOSIC等は代表例である。モジュール基板材料としてSi薄膜基板、低熱膨張係数で高熱伝導のAlN基板、低熱膨張係数のガラスセラミック基板、熱膨張係数がGaAsに近い Al_2O_3 基板、高耐熱性で熱伝導を向上させたインバー合金等のメタルコア有機基板等がある。

図7（a）はSiのモジュール基板29上にSiチップ8を実装した例である。Siのモジュール基板29上ではR、C等は薄膜で形成できるのでより高密度実装が可能であり、主にSiチップ8のみフリップチップ実装される。プリント基板22への実装はQFP-LSI型で柔らかいCu系リード20を介して行う。リード20とSiのモジュール基板29との接続は本案の切断したはんだ箔17を用いて、加圧、加熱して行う。その後、シリコーン等の柔らかい樹脂19で最後に保護、補強を行う。Siチップのはんだバンプ18をSn-3Ag（融点：221°C）で構成し中継基板29に接続する。プリント基板22へはSn-Ag-Cu系Pbフリーはんだ21により接続する。はんだバンプ18は、Sn-Ag-Cu系Pbフリーはんだ21のリフロー時に再溶融してもプリント基板22への実装におけるSiチップ8の自重により変化することは殆どなく、かつSi-Siの接続のため応力的負担はなく、信頼性上問題はない。プリント基板22への実装が終わっ

た後で、Siチップ8上には保護のためシリコンゲル12等をコートすることも可能である。

また、他の方法としてSiチップ8のはんだバンプ18をAuのボールバンプにして、中継基板29上に形成する端子にSnめっきを施すと、熱圧着によりAu-Sn接合を得
5 ることができ、プリント基板22への実装における250°Cのリフロー温度では溶けることはなく、従って、温度階層接続が可能であり、リフローに十分耐えられる接合となる。

はんだ箇17による接続は、前述の如く、Cuなどの金属ボール間に形成される金属間化合物により接合が保たれており、プリント基板22への実装における250°C
10 のリフロー温度においても強度を確保することが出来る。これによって今までの大きな課題であった温度階層をつけた鉛フリー接続を実現することが出来る。

なお、Si基板に代えて、AlN基板、ガラスセラミック基板、Al₂O₃基板等の厚膜基板を用いた場合、R、C等のチップ部品の搭載は機能素子を作る上で必要である。他方、厚膜ペーストでレーザートリミングによるR、C形成方法もある。厚膜ペー
15 ストによるR、Cの場合、上記Si基板と同様な実装方式が可能である。

図7 (b) はGaAsチップ8を熱伝導性、機械的特性に優れるAl₂O₃モジュール基板29を用いたモジュールをAlフィン23のケースで絶縁封止した場合である。GaAsとAl₂O₃とは熱膨張係数が近いのでフリップチップ実装は信頼性上問題はない。これらのチップ部品の端子接続は端子面積が□0.6mm以上であれば、はんだ厚t；
20 0.05～0.10の箇とし端子数の少ない素子、チップ部品に仮付けして、あるいは基板側の端子に仮付けして、個別に抵抗加熱体で窒素雰囲気の加圧接続で、あるいは還元雰囲気もしくは不活性雰囲気のリフローでの接続が可能である。また、はんだ厚t；0.15～0.25の箇を用いることも可能である。高出力対応には、ここでは示していないが、チップ搭載法としては本案の箇を用い（チップ裏面8）、ダイ
25 ボンドし、端子はワイヤボンドする方法が一般的である。

Alフィン接続の場合はフィンの周囲を取り巻く形状の箇を用い、窒素雰囲気で抵抗加熱体で加圧接続する。図7 (c) は左側が端子接続の例で、右側はAlフィン23の例であり、共に該はんだ箇27をモジュール基板の端子28とフィン接続部の端子間に挟んで接合する。この時、はんだ箇は予め基板かフィンのどちらかに仮

付けしておくと良い。Alの場合は端子部はNiめっき等が施されている。

図7 (d) はインバー合金等のCの有機基板32に実装する段取りのモデルである。発熱チップは低熱膨張で耐熱性に優れるメタルコアのポリイミド樹脂等の有機基板、高密度実装に対応したビルドアップ基板等を使用すれば、GaAsチップを直接
5 に搭載することが可能である。高発熱チップの場合、ダミーの端子を設け、直接熱がメタルに伝導させることも可能である。

なお、本案の素子への実施例として、RFモジュールを取り上げたが、各種移動体通信機用のバンドパスフィルタとして使用されているSAW（弹性表面波）素子構造、PA（高周波電力増幅器）モジュール、他のモジュール、素子等に対して
10 も同様に応用できる。また、製品分野としては、携帯電話、ノートパソコン等に限らずデジタル化時代を迎える新たな家電品等に使用できるモジュール実装品を含む。

図8はRFモジュール実装への応用を更に具体化したものである。図8 (a) はモジュールの断面図であり、図8 (b) は上面に部材23を透かしてみた平面図の
15 モデルである。実際の構造は、電波を発生する約□2mmチップ8のMOSFET素子がマルチバンド化に対応するため、数個フェースアップ接続で搭載されており、更に周辺には効率良く電波を発生させる高周波回路がR、Cチップ部品52等で形成されている。チップ部品も小型化され、1005等が使用されていて、モジュールの縦横寸法も7×14程度で高密度実装されている。ここでは、はんだの機能面のみを考慮し、代表して素子を1個、チップ部品を1個搭載したモデルの例で示す。なお、後述するようにチップ8、チップ部品52はAl₂O₃基板13にはんだ接続されている。チップ8の端子はAl₂O₃基板13の有する電極にワイヤボンディングにより接続され、さらにスルーホール59、厚膜導体61を介して基板裏面の外部接続部となる厚膜電極60と電気的に接続される。チップ部品52は基板13の有する電極と半田接続され、
25 さらにスルーホール59、配線61を介して基板裏面の外部接続部となる厚膜電極60と電気的に接続される。図示はしていないが、チップやチップ部品と接続する基板の有する電極62とスルーホール59とは配線により電気的に接続されている。モジュール全体を覆う部材（Alフィン）23とAl₂O₃基板13とは、かしめなどにより接合される。また、本モジュールは、プリント基板などに対して外部接続部とな

る厚膜電極60とのはんだ接続により実装されるものであり、温度階層接続が必要となるものである。

図9は図8に示す構造においてはんだ箇を使用したSi（もしくはGaAs）チップのダイボンドを前提とした4つのプロセスを示すフローチャート図である。（1）、
5 （2）のプロセスは1005等の小型のR、Cチップ部品に対して、作業性から従来の
Agペーストを選択する方式で、（1）は基板表面が清浄な状態でフラックスレス
で窒素雰囲気で短時間ではんだ箇を用いてダイボンドした後、ワイヤボンドし、
その後、Agペーストでチップ部品を接続する方式である。（2）は先にAgペースト
10 でチップ部品を接続する方式であり、樹脂硬化のために炉を用いると基板表面
が汚れ、後工程のワイヤボンドに影響を及ぼす恐れがあるので、その場合は洗浄
してワイヤボンドすることになる。（3）は、同じく高温側の温度階層性を確保
するため、接合原理ははんだ箇と同様であるが、小型のチップ部品に対しては作
業性に優れる金属ボールとはんだボールとの混合ペーストで供給する方式であり、
印刷でも、ディスペンサーでも可能である。リフロー後洗浄し、高出力Siチップ
15 には極力ボイドレス化が要求されるので、ボイドレス化に適しているはんだ箇の
ダイボンドを行い、最後にワイヤボンドを行う。なお、（3）の工程で先にダイ
ボンド、ワイヤボンドを行えば、フラックスの洗浄工程を省くことも可能である。
（4）は先にダイボンド、ワイヤボンドする方式で、後工程で二つの考え方があ
る。一つは、後工程で、チップ部品を一個づつ窒素雰囲気でフラックスレスで接
続する方式である。この方式は時間がかかる欠点がある。そこで、もう一つは、
20 （4）に示したプロセスで、チップ部品に対して、フラックスを用いて仮付け程
度にし、後でリフローで一括接続する方式である。具体的には、ダイボンド、ワ
イヤボンドした後、例えばCuボールとSnボールで構成され、表面に約 $1\mu\text{m}$ のSnめ
つきを施した複合はんだ箇（予めチップ部品にはNiめつきされている場合がほと
25 んどで、その場合はSnめつきは不要である）を、ほぼ電極寸法に切断し、部品の
電極部に加圧加熱（フラックスを用いても良い）により仮固着させ、仮固着した
該部品をAl₂O₃基板上のW-Ni-Auめつき電極部に熱圧着ではんだが塑性変形する程
度に仮固着させることが好ましい。なお、個々の部品を一個づつ、窒素雰囲気下
でパルスの抵抗加熱体で300～350°Cで5秒間押しつければ、確実に金属間化合物

が形成され、連結されて、260°C以上の高温でも強度を保つことは言うまでもない。そして、リフロー炉（最高270～320°C）に通せば、圧着している部分はCu、Niとともに合金層の連結で繋がれる。この連結は完全である必要はなく、どこかで繋がれていれば、強度は小さくても高温時に問題になることはない。

5 小型チップ部品は、素子ほどは高温にならないが、長期に使用した場合、Agペーストの劣化が問題になる場合には、本発明の構成要素のはんだを用いることにより、高信頼性を確保できる。課題は小型のチップ部品に対して、1個づつ確実に熱圧着で固着すると手間がかかることがある。

図8 (c) は、前述のモジュールをプリント基板22にはんだ接続した例であり、
10 モジュールのほか、電子部品52やBGAタイプの半導体装置が半田接続されている。
半導体装置は、半導体チップ8を中継基板43上に前述のはんだ箇によりフェースアップの状態で接続し、半導体チップ8の端子と中継基板43の有する端子とをワイヤボンディング35により接続したものであり、その周りはレジン58により樹脂封止されている。また中継基板43の下側にははんだボールバンプ21が形成されて
15 いる。はんだボールバンプ21には、例えばSn-2.5Ag-0.5Cuのはんだが用いられる。
なお、はんだボール30としては、Sn-(1～2.5)Ag-0.5Cuが望ましく、例えばSn-1.0Ag-0.5Cuを用いても良い。また、その裏面にも電子部品が半田接続されており、いわゆる両面実装の例となっている。

実装の形態としては、まず、プリント基板上の電極部分に、例えばSn-3Ag-0.5Cuのはんだ（融点：217～221°C）ペーストを印刷する。そして、まず、電子部品54の搭載面側から半田接続を行うために、電子部品50を搭載し、最高240°Cでリフロー接続することで実現する。次に、電子部品、モジュール、半導体装置を搭載し、最高240°Cでリフロー接続することで両面実装を実現する。このように、先に耐熱性のある軽い部品をリフローし、後で、耐熱性のない、重い部品を接続するものが一般的である。後でリフロー接続する場合、最初に接続した側のはんだを再溶融させないことが理想である。

前述の通り、この場合もプリント基板への実装時のリフロー温度では、モジュール内の接続に用いたはんだ箇自体の接合は確保されるので、モジュールや半導体装置を高信頼にプリント基板上に接続することが出来る。すなわち、半導体裝

置やモジュール内の接続とプリント基板上の接続との温度階層接続を実現することが出来る。なお、プリント基板の両面を同一のはんだにより接続したが、電子部品54として1005等の重量のない小型部品においては、電子部品、モジュール、半導体装置のリフロー接続においてはんだが溶融したとしても、それ自体が軽いため重力よりも表面張力の作用が勝り、落下することはない。従って、最悪のケースを考えた場合、基板の端子との金属間化合物はできずに単にSnで接合されただけでも問題は起きない。なお、モジュール内において実装した小型部品に対しては、Cu, Snを混合したはんだ箇を仮固着する方式より、Cu, Snを混合したはんだペーストを使用する組合せが生産性を考慮すると望ましい。

10 次に、モータドライバーIC等の高出力チップの樹脂パッケージへの適用例を示す。図10 (a) はリードフレーム65と熱拡散板64とを張り合わせてかしめた平面図で、かしめ個所63は2個所である。図10 (b) はパッケージの断面図であり、図10 (c) はその一部の拡大である。3Wレベルの発熱チップ8からの熱ははんだ47を介してヘッダの熱拡散板(Cu系の低膨張複合材)64に伝わる。リード材15は例えば42Alloy系の材料で構成する。

図11はパッケージの工程図を示す。まず、リードフレームと熱拡散板(ヒートシンク)をかしめ接合する。そして、かしめ接合された熱拡散板64上にはんだ、ダム57を介して半導体チップ8をダイボンド接続する。ダイボンド接続された半導体チップ8は、さらに図示するように、リード56と金線35などによりワイヤボンディングされる。その後、樹脂モールドされ、ダム切断後、Sn系はんだめっきが施される。そして、リード切断成形され、熱拡散板の切断が行われ完成する。Siチップ8の裏面の電極は、Cr-Ni-Au、Cr-Cu-Au、Ti-Pt-Au、Ti-Ni-Au等の一般に使用されるメタライズ層であれば可能である。Auが多い場合も、Au-Snの融点の高いAuリッチ側の化合物が形成されれば良い。チップのダイボンドは窒素を吹き付けて、パルスの抵抗加熱体で、初期加圧2kgf、350°Cで5秒間で行った。はんだ厚の制御は初期加圧時の位置(70 μm膜厚)から10 μm下がったところでセットされ、耐熱疲労性向上のため、機構上、膜厚を確保するシステムになっている。上記以外に、初期加圧1 kgf、350°Cで5~10秒間で行った。はんだ厚の制御は初期加圧時の位置(150 μm膜厚)から10 μm下がったところでセットされても同様で

あつた。高出力チップのため、ボイド率低減が重要であり、目標の5%以下を達成できた。該はんだけCuボールが均一に分散された状態で入つてゐるため、構造的に大きなボイドが発生し難くなつてゐる。厳しい熱疲労に対しても、Sn、Sn系はんだ自体の耐熱疲労性は優れており、かつ変形性にも優れている。更には、Cu

5 粒子間、Cu粒子と電極間でネットワーク上に金属間化合物が形成されるので、260°C以上の高温でも強度を確保する。Cu粒子間等が強く結合し過ぎると（Cu粒子間等で合金層形成面が多い）、拘束され自由度がなくなり、強い弹性体結合になるので、素子等に対して良くはない。適度の結合が存在する。特に、チップ周辺部において、従来はんだでは応力集中する接合界面近傍で破壊して、はんだ内
10 部では破壊が起つて難い状況であった。本方式では接合界面はCuボールとの反応で界面破壊が起つて難く、はんだ内部で破壊できるネットワーク形成にすることが可能である。ダイボンド、ワイヤボンド後、樹脂モールドされ、ダム切断され、リードにはSn-Bi、Sn-Ag、Sn-Cu系のPbフリーはんだめつきが2~8μm施される。更に、リード切断成形され、不要な部分の熱拡散板を切断して完成する。

15 図12は一般的なプラスチックパッケージに適用した例である。Siチップ裏面が42Alloyのタブ66上に導電ペースト67で接着されている。素子はワイヤボンド35を通してリード56に繋がれ、樹脂58でモールドされる。その後、リードにはPbフリー化に対応したSn-Bi系のめつきが施される。従来はプリント基板実装に対して、融点；183°CのSn-37Pb共晶はんだが使用できたので、最高220°Cでリフロー接続ができた。Pbフリー化になるとSn-3Ag-0.5Cu（融点；217~221°C）でリフロー接続を行うことになるので、最高240°Cとなり、最高温度が約20°C高くなる。このため、Siチップ8と42Alloyのタブ66の接続に、従来の耐熱性の導電ペーストもしくは接着剤を使用すると高温での接着力は低下し、その後の信頼性に影響することが予想される。そこで、導電ペーストの代わりに該はんだ箔を使用すること
20 で、最高270~350°Cでの高温での強度を確保するので、Pbフリーはんだによる階層接続が可能となる。このプラスチックパッケージへの応用は、Siチップとタブとを接続するプラスチックパッケージ構造すべてに適用できる。構造上、Gull Wingタイプ、Flatタイプ、J-Leadタイプ、Butt-Leadタイプ、Leadlessタイプがある。

図13は複合はんだ箔にする前段階のモデル構造の一例である。3~15 μmレベルのSnめっきしたCuなどの金属繊維69（高い温度での成型、圧延する場合はCuとSnとの反応を抑えるためNi/Au等の表面処理を施しても良い）を一列に敷いて、その上にSnなどのはんだボール及びSnめっきしたCuなどの金属ボールとを適切な配合（約50%）に混ぜたものを、成型、圧延して150~250 μmレベルに加工した箔を作る。この中に、更に低ヤング率化のためSnめっきした耐熱性のプラスチックボール、もしくは金属ボールの一部としてCu/Snめっきされた低熱膨張のシリカ、インバー合金等を加えても良い。成型、圧延した段階では、柔かいはんだボールは金属ボール、金属繊維の隙間に入り『海島構造』の海の形を形成する。金属繊維径は上記3~15 μmにこだわるものでなく、箔の中央部で核になり、被接合体との接合界面では金属ボールが主要な役目を果たす。連続圧延等において金属繊維をその方向に向けることで、作業はやり易くなる。なお、金属繊維の代わりに細線化、低膨張化が可能なカーボン繊維にCu（もしくはCu/はんだ）めっきしたもの、他にセラミック、ガラス、インバー合金等の繊維にNi/Au、Ni/はんだ、Cu（もしくはCu/はんだ）めっき等も可能である。

図13は箔の核となる金属繊維を一列に並べた例であるが、図14はクロスに並べたもの（角度は自由）で安定した構造になる。クロスの隙間にSnなどのはんだボール及びSnめっきしたCuなどの金属ボールとを適切な配合（約50%）に混ぜたものを入れ込んだものであり、応用は図13と同様に可能である。

図15は金網状の繊維71を用いた場合の箔の断面であり、奥行き方向に伸びた金網断面を×印70で示した。図15(a)は金網とはんだで構成された箔である。金網のメッシュを細かくするには限界があり、現状の市販品の最小メッシュは325で、通過する粒径は44 μmと大きく、網を形成する線径も太いので、接合界面での接触部面積が小さい（化合物形成域）ので、高温での強度確保に課題がある。そこで金網70、71の隙間に、Snなどのはんだボール及びSnめっきしたCuなどの金属ボール2とを適切な配合（約50%）に混ぜたものを充填して作製した箔の断面を図15(b)に示す。はんだ72は隙間に入り込んだ構造になる。高温時の強度確保が必要な場合はCuボールを多目に配合し、被接合体との界面での化合物形成に重点をおき、継手の熱疲労を重視する場合ははんだを多目に配合することで、は

んだの耐熱疲労性に重点をおく制御が可能である。なお、充填する金属ボールはボールに限定するものでなく、後述の繊維等は有力である。金属ボールとはんだとの配合比率も、金属の形状、接触状態等にも関係し、大きく異なる可能性がある。

5 図16は紙を作るよう細長い金属繊維73をランダムに平坦化して、骨組を作り両側にSnなどのはんだボール68及びSnめっきしたCuなどの金属ボール2とを適切な配合（約50%）に混ぜたものを充填した状態のモデルである。図16（a）は平面図で、図16（b）は断面図である。

図17は金属ボールの代わりに短冊金属繊維、あるいは低膨張化が可能なカーボン繊維にCu（もしくはCu/はんだ）めっきしたもの、他にセラミック、ガラス、インバー合金等の繊維にNi/Au、Ni/はんだ、Cu（もしくはCu/はんだ）めっき短冊繊維等が可能である。短冊繊維にすることではんだの配合量を大幅に増やすことができる。また、隙間に金属ボールを混せて化合物形成によるネットワークを強化することも可能である。金属ボールだけでは拘束され、剛体構造になるが、15 このように短冊状繊維を分散することで変形性と弾力性に富む構造が期待でき、ダイボンド時、あるいは熱疲労に対しても良い性能が得られるものと考える。短冊の長さは、箔の厚さを $200\mu\text{m}$ とすれば $1/10$ 以下が望ましい。一例として、径； $1\sim5\mu\text{m}$ 、長さ； $5\sim15\mu\text{m}$ レベルの範囲にあることが望ましい。

産業上の利用可能性

20 本発明によれば、全く新規なはんだ接続による電子装置、半導体装置を提供することができる。特に、温度階層接続における高温側のはんだ接続を実現することができる。

また、新たなはんだ箔を提供することができ産業上の利用性が高い。

請求の範囲

1. 金属の粒子とはんだの粒子を含む材料を圧延して形成したことを特徴とするはんだ箔。
- 5 2. Cuの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したことを特徴とするはんだ箔。
3. CuとSnを有するはんだに圧力を加えて形成したはんだ箔であって、Cuは粒子の状態であり、Snは該Cu粒子の間を埋める状態であることを特徴とするはんだ箔。
- 10 4. 請求項2または3に記載のはんだ箔であって、該はんだ箔をリフローさせるとCu粒子の表面の少なくとも一部は Cu_6Sn_5 により覆われることを特徴とするはんだ箔。
5. 請求項2または3に記載のはんだ箔であって、Cu粒子と塑性変形後のSnは該はんだ箔をリフローさせると Cu_6Sn_5 を含む化合物により結合されることを特徴とするはんだ箔。
- 15 6. 請求項2から5のいずれか1項に記載のはんだ箔であって、Cu粒子の粒径は10～40 μm であることを特徴とするはんだ箔。
7. 請求項2から5のいずれか1項に記載のはんだ箔であって、Cu粒子の粒径は3～10 μm であることを特徴とするはんだ箔。
- 20 8. 請求項2から7のいずれか1項に記載のはんだ箔であって、前記Cu粒子の表面上にNiめっきもしくはNi/Auめっき層を有することを特徴とするはんだ箔。
9. 請求項2から8のいずれか1項に記載のはんだ箔であって、該箔の少なくともCuが露出している部分をSnめっきすることを特徴とするはんだ箔。
10. 請求項1から9のいずれか1項に記載のはんだ箔であって、該はんだ箔の25 厚さが80 μm から150 μm であることを特徴とするはんだ箔。
11. 請求項1から9のいずれか1項に記載のはんだ箔であって、該はんだ箔の厚さが150 μm から250 μm であることを特徴とするはんだ箔。
12. 請求項1から11のいずれか1項に記載のはんだ箔であって、プラスチック粒子を有することを特徴とするはんだ箔。

13. 請求項 2 または 3 に記載のはんだ箔であって、前記Cuよりも熱膨張係数が小さい他の粒子を有することを特徴とするはんだ箔。

14. 請求項 2 または 3 に記載のはんだ箔であって、前記Cuよりも熱膨張係数が小さい他の粒子はインバー合金系、シリカ、アルミナ、AlN、SiCの粒子であることとを特徴とするはんだ箔。

15. 請求項 2 または 3 に記載のはんだ箔であって、さらにInの粒子を含むことを特徴とするはんだ箔。

16. 請求項 2 または 3 に記載のはんだ箔であって、Cu粒子とSn粒子を真空中、還元性雰囲気中もしくは不活性雰囲気中で混合し、その後圧力をかけることにより箔状にしたものであることを特徴とするはんだ箔。

17. 請求項 2 または 3 に記載のはんだ箔であって、圧延率が 15 %から 20 %であることを特徴とするはんだ箔。

18. 金属繊維とはんだ粒子を含む材料を圧延して形成したことを特徴とするはんだ箔。

19. Cuの金属繊維とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したことを特徴とするはんだ箔。

20. 請求項 1 9 に記載のはんだ箔であって、該はんだ材料のうち、該Cuの金属繊維は短冊状であることを特徴とするはんだ箔。

21. Al、Au、Agのいずれかの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したことを特徴とするはんだ箔。

22. Zn—Al系合金、Au—Sn系合金の粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形成したことを特徴とするはんだ箔。

23. 第一の電子装置と、第二の電子装置と、第三の電子装置を有する電子装置であって、

24. 該第一の電子装置と該第二電子装置は、請求項 1 から 2 2 のいずれか 1 項に記載された第一のはんだ箔により接続され、該第二の電子装置と該第三の電子装置は該第一のはんだより融点の低い第二のはんだにより接続されていることを特徴とする電子装置。

25. 第一の電子装置と第二の電子装置をCuの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料

を圧延して形成したはんだ箔で接続し、該第二の電子装置と第三の電子装置を該はんだ箔よりも融点の低いはんだで接続したことを特徴とする電子装置。

25. 半導体チップと、該半導体チップが配置されるタブと、外部との接続端子となるリードとを備え、該半導体チップの有する電極と該リードとがワイヤボン

5 デングにより接続された半導体装置であって、

該半導体チップと該タブは金属粒子とはんだ粒子とを混合したはんだ箔により接続されていることを特徴とする半導体装置。

26. 請求項 2 5 記載の半導体装置であって、前記はんだ箔は金属粒子とはんだ

10 粒子とを混合した材料を圧延して形成されたはんだ箔であることを特徴とする半

導体装置。

27. 請求項 2 5 記載の半導体装置であって、前記はんだ箔はCuの粒子とSnの粒
子を含むはんだ材料を圧延して形成されたはんだ箔であることを特徴とする半導
体装置。

28. 回路基板と、半導体チップとを備え、該回路基板の有する電極と該半導体

15 チップの有する電極とをワイヤボンディングにより接続した電子装置であって、

該回路基板と該半導体チップは金属粒子とはんだ粒子とを混合したはんだ箔によ
り接続されていることを特徴とする電子装置。

29. 回路基板と、半導体チップとを備え、該回路基板の有する電極と該半導体

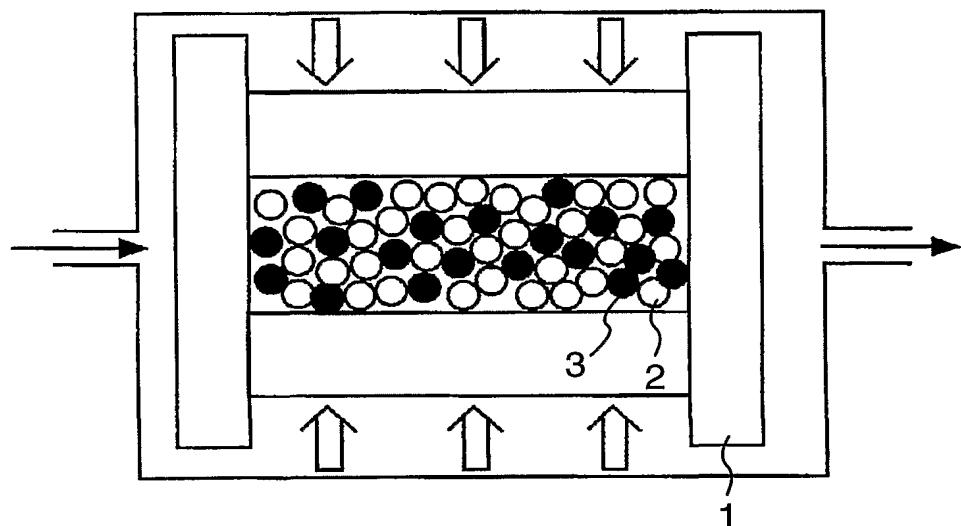
チップの有する電極とをワイヤボンディングにより接続した電子装置であって、該

20 回路基板と該半導体チップはCuの粒子とSnの粒子を含むはんだ材料を圧延して形

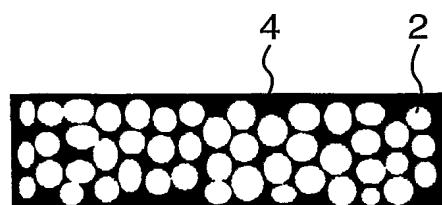
成されたはんだ箔を用いて接続していることを特徴とする電子装置。

FIG.1

(a)



(b)



(c)

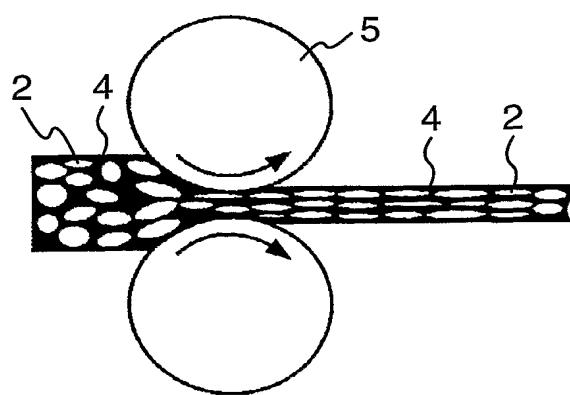
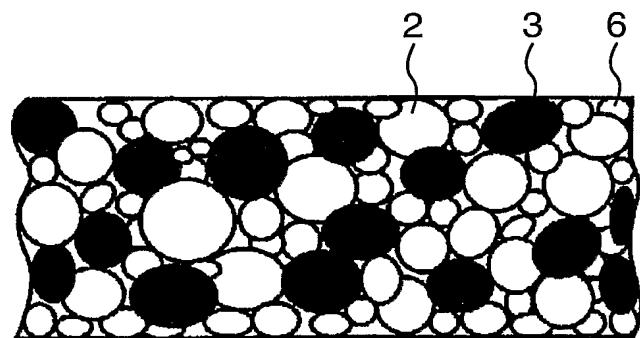
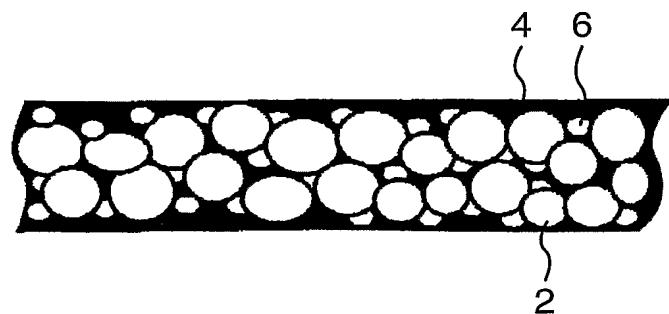


FIG.2

(a)



(b)



3/15

FIG.3

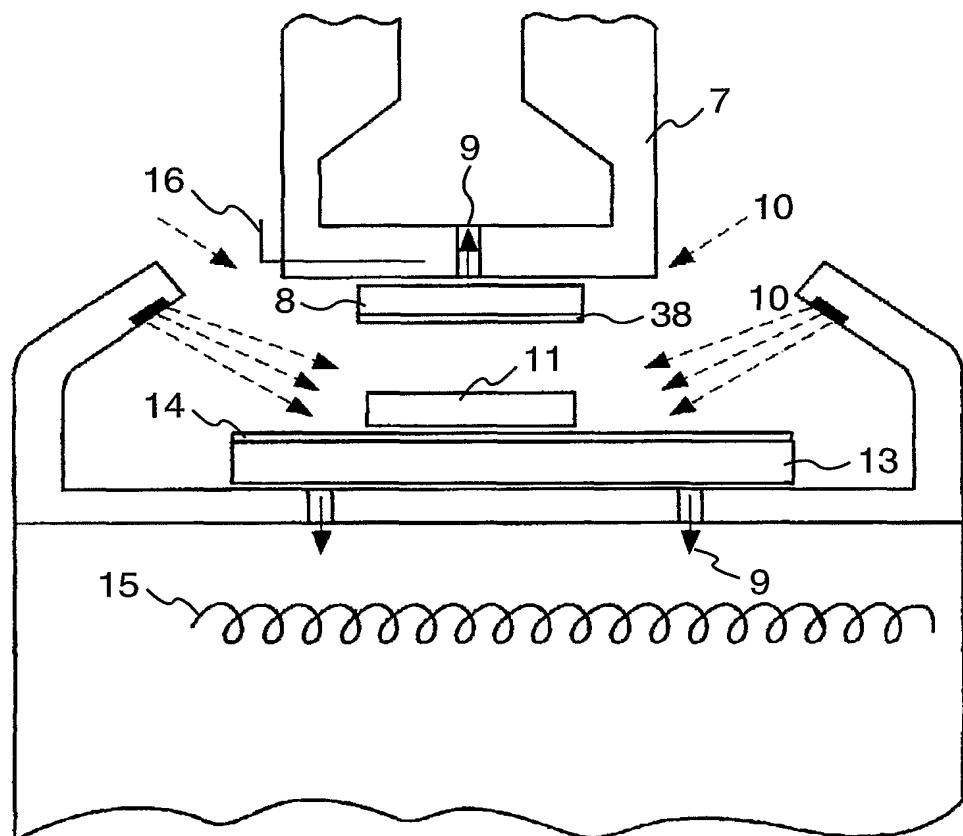
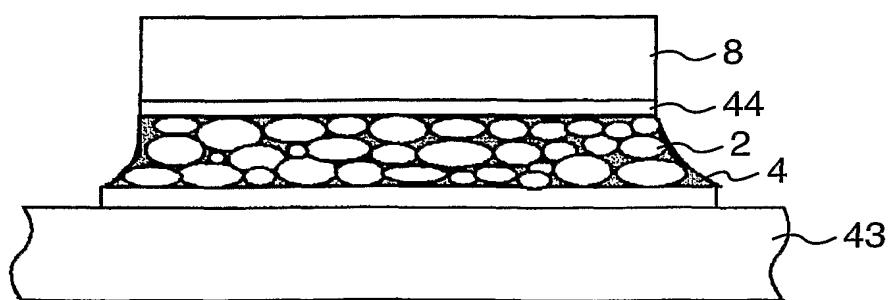


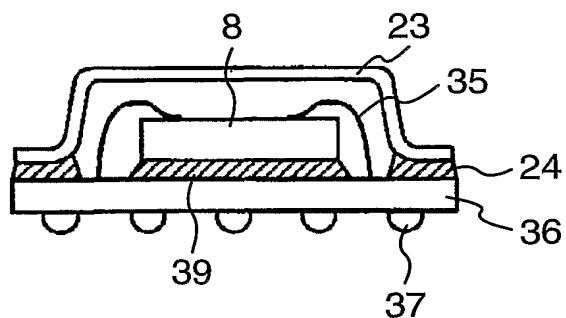
FIG.4



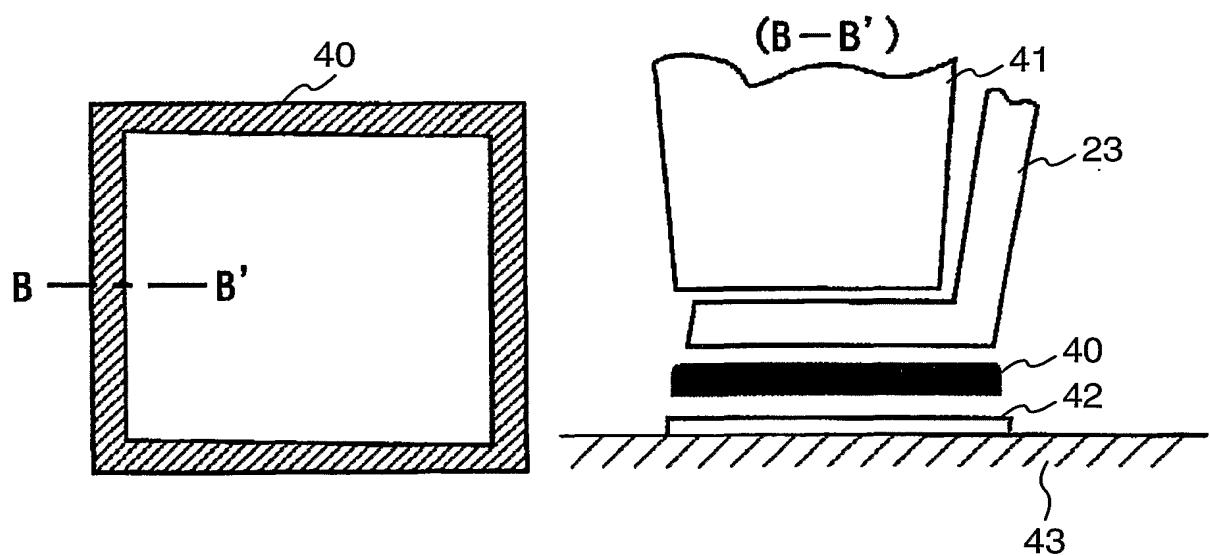
4/15

FIG.5

(a)



(b)



(c)

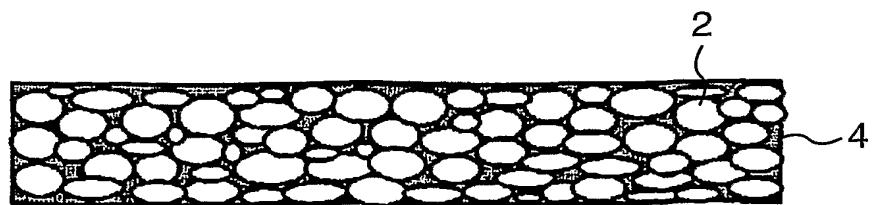
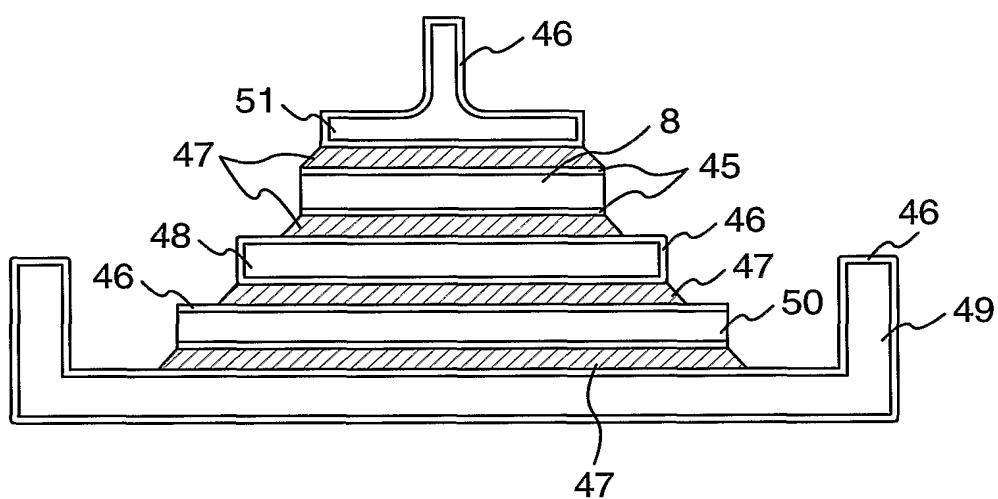
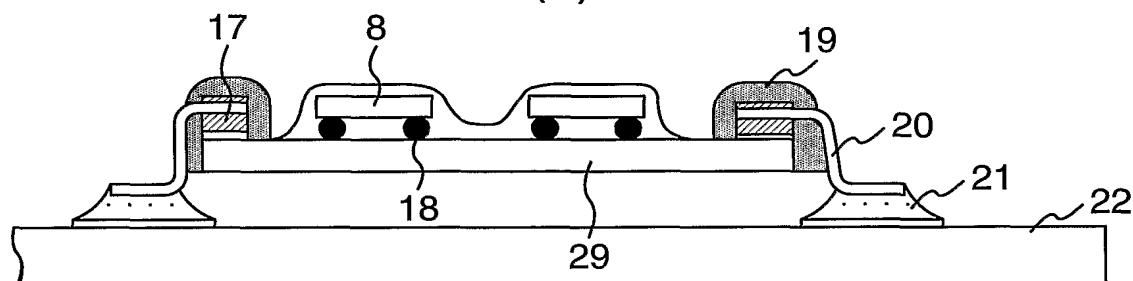


FIG.6

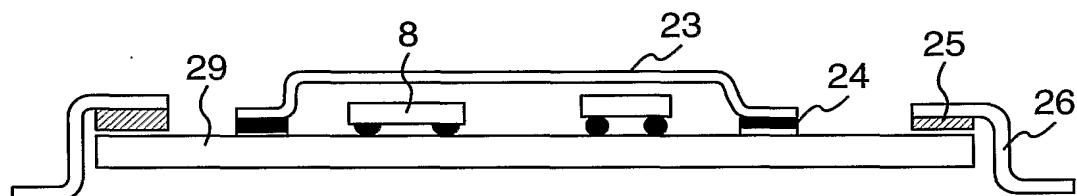
6/15

FIG.7

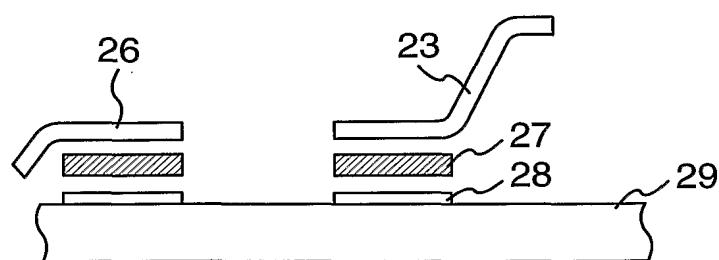
(a)



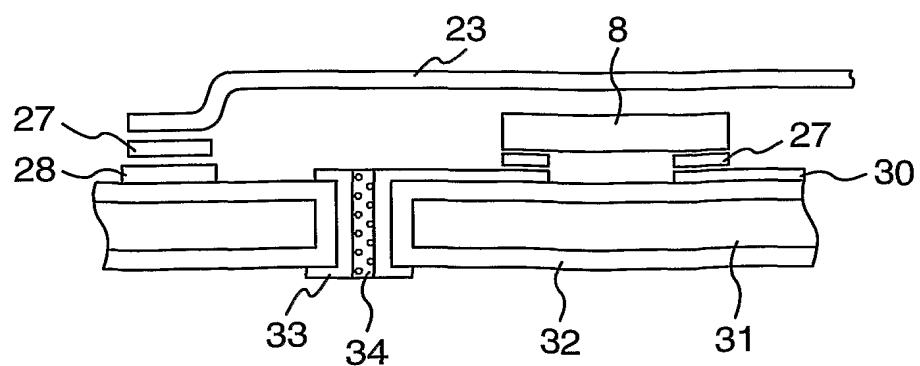
(b)



(c)



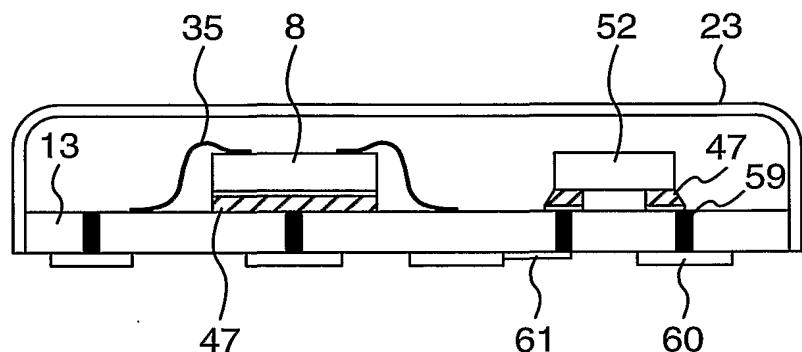
(d)



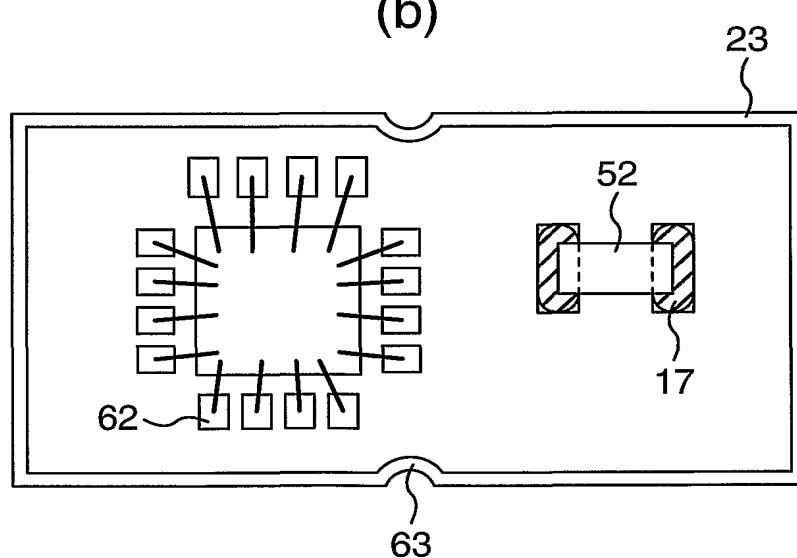
7/15

FIG.8

(a)



(b)



(c)

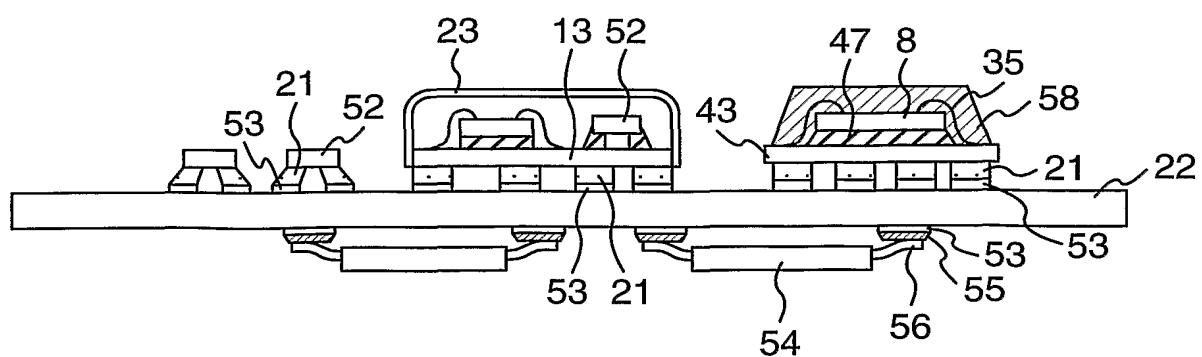
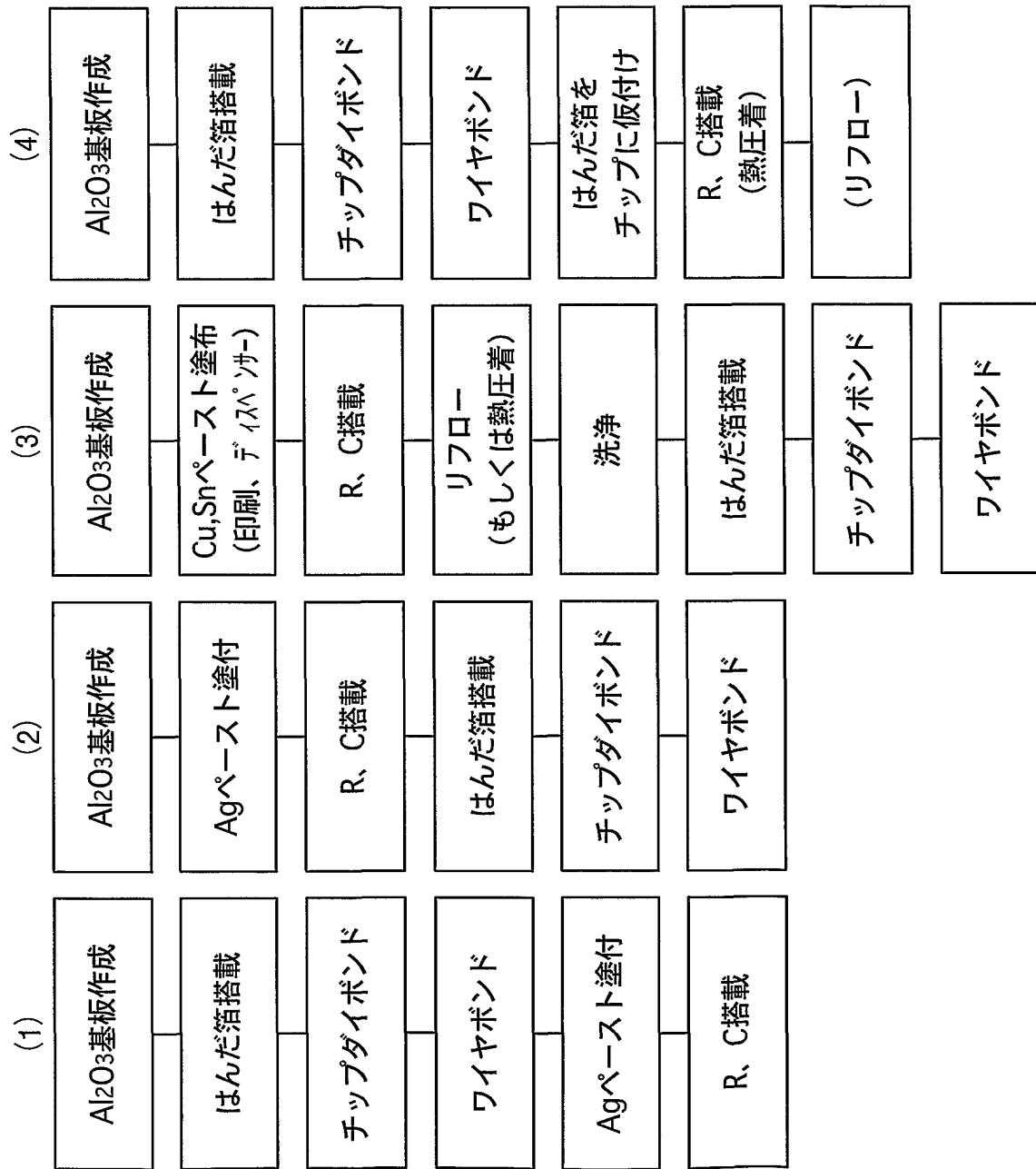
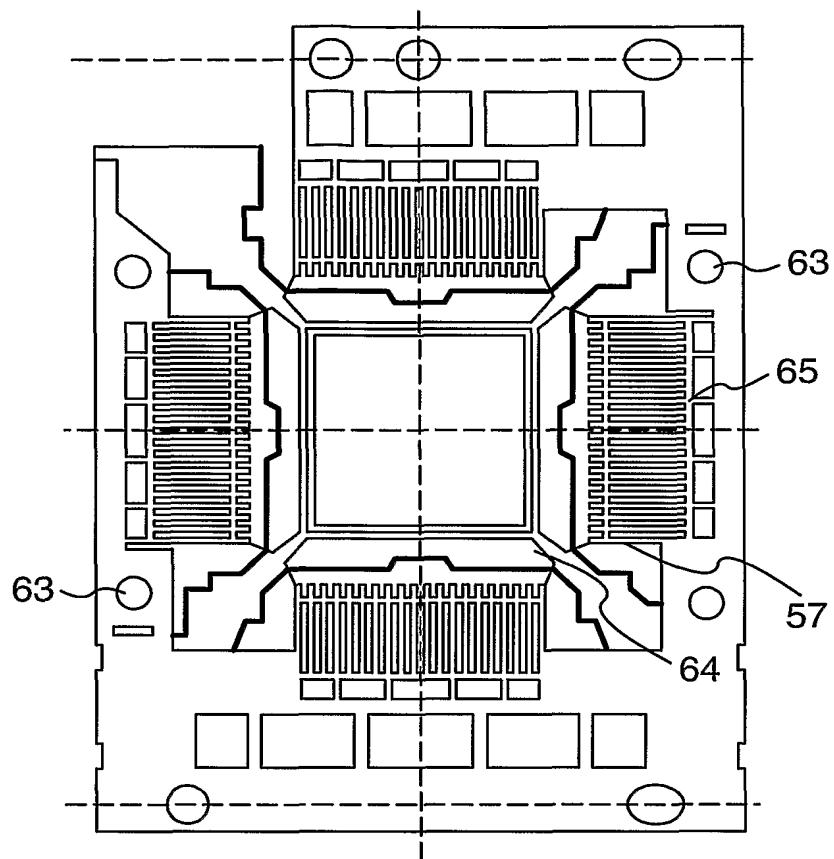


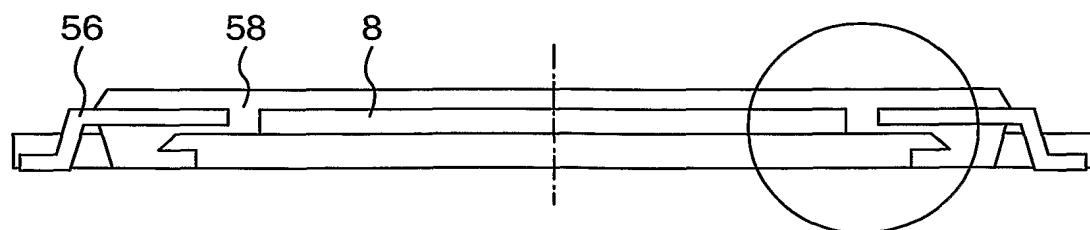
FIG.9



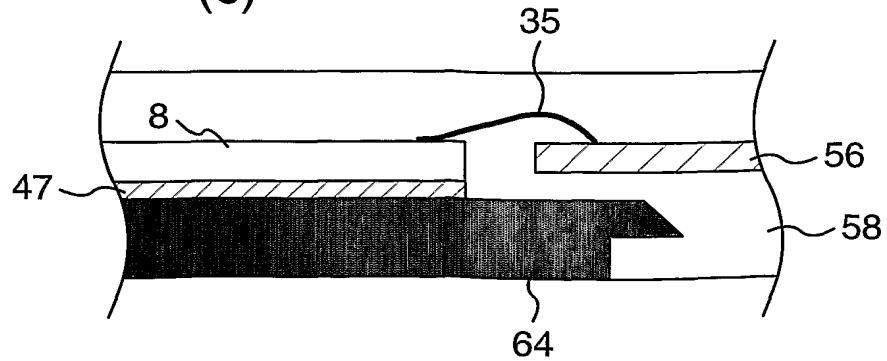
9/15

FIG.10
(a)

(b)



(c)



10/15

FIG.11

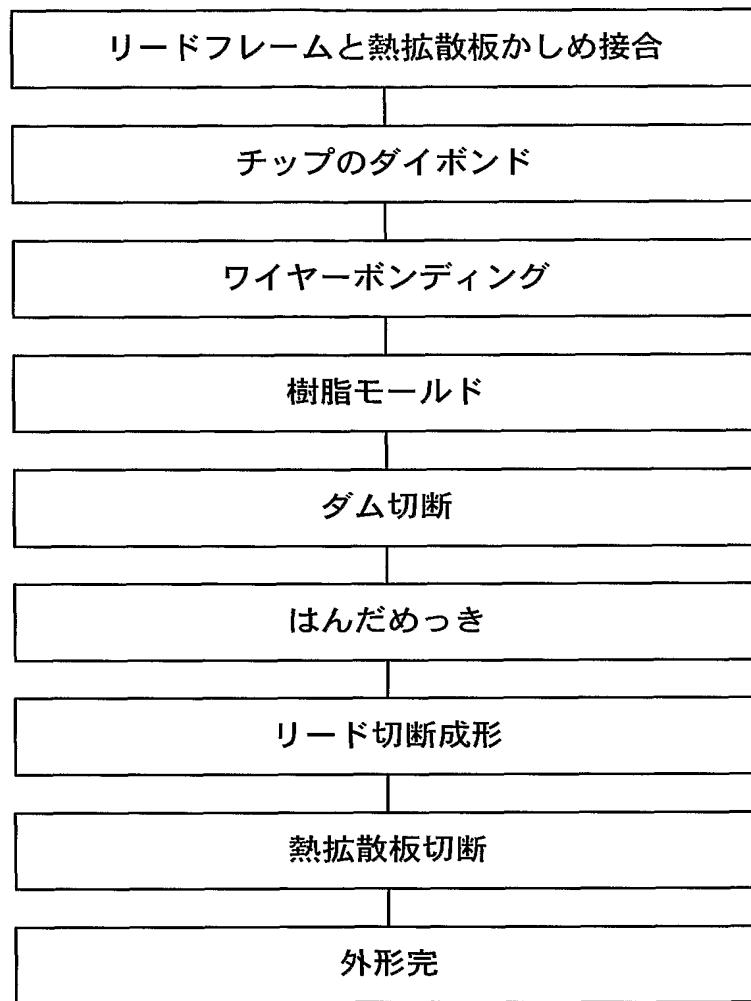


FIG.12

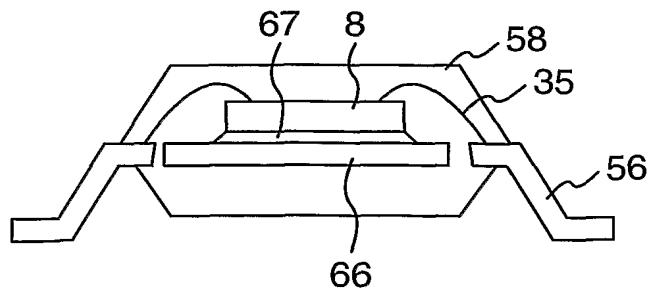
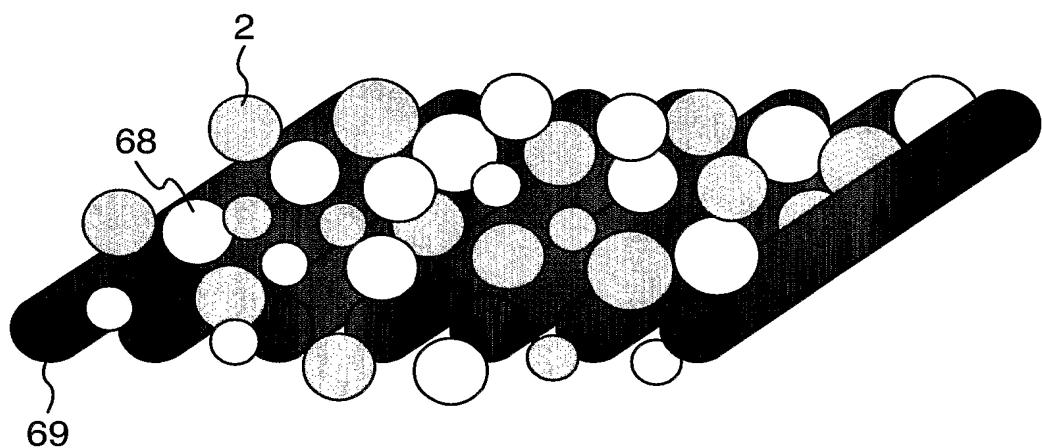
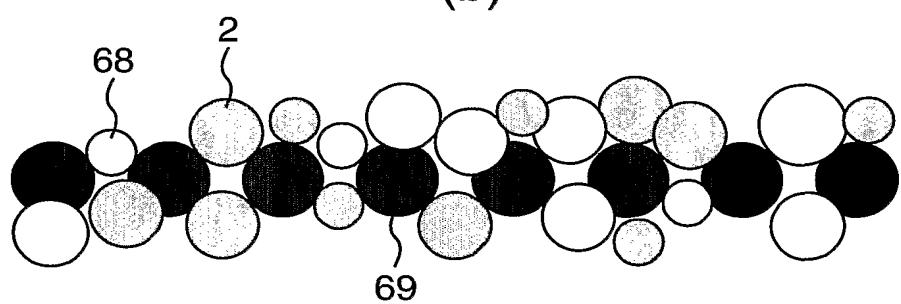


FIG.13

(a)

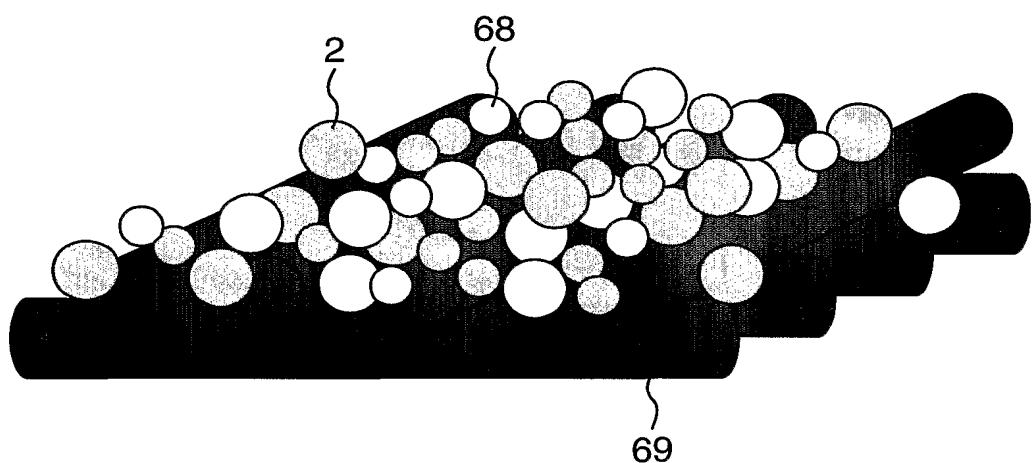


(b)



12/15

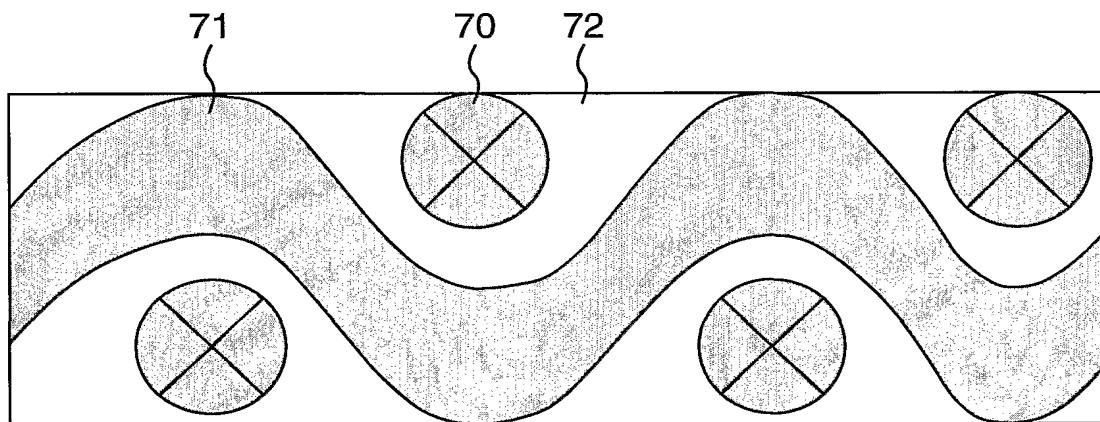
FIG.14



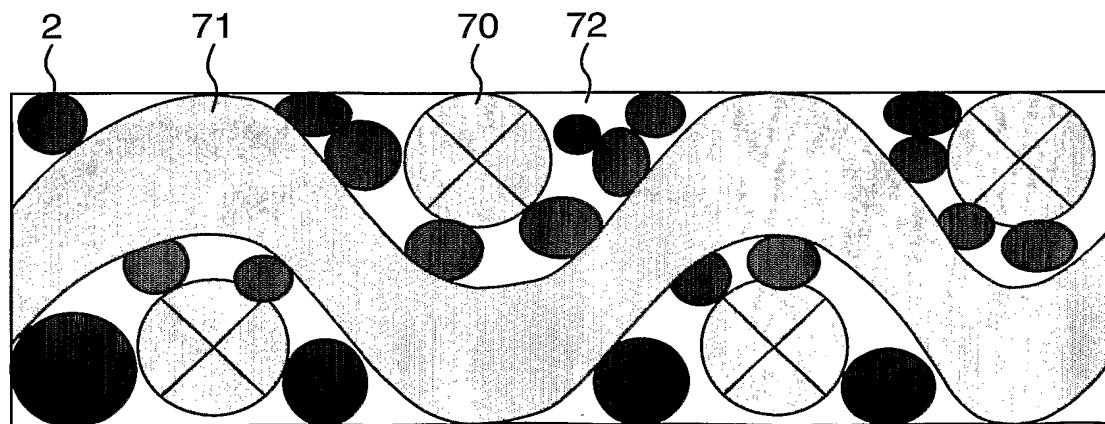
13/15

FIG.15

(a)



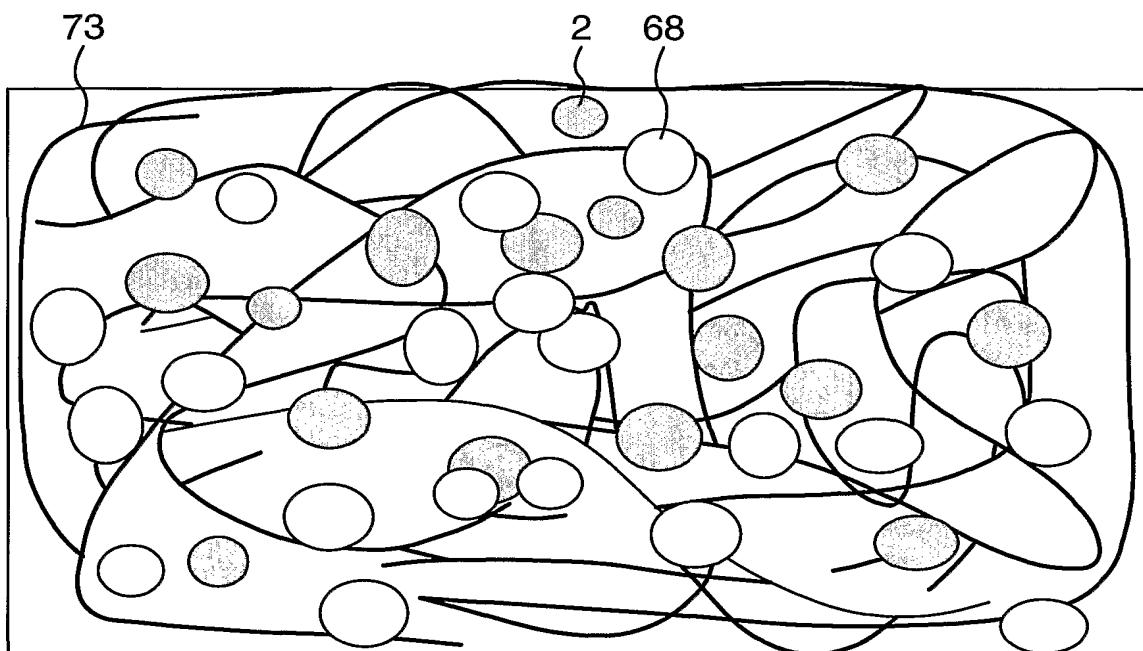
(b)



14/15

FIG.16

(a)



(b)

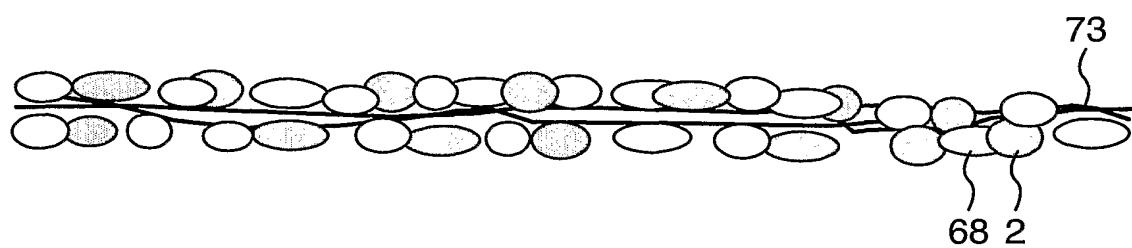
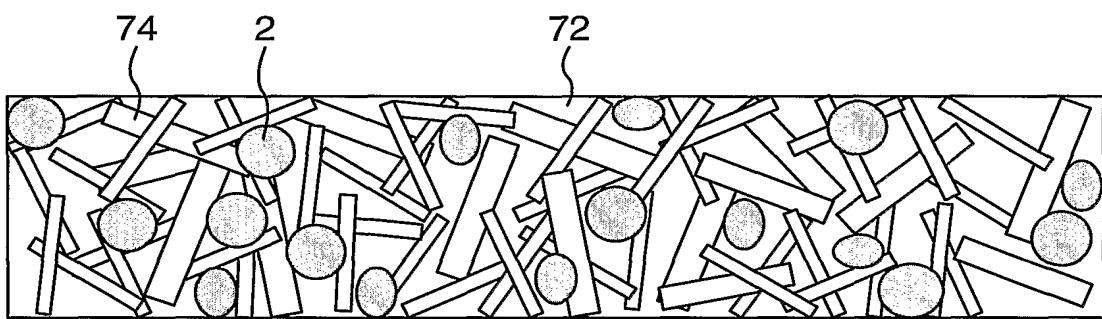


FIG.17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/11152

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ B23K35/14, H01L21/52

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B23K35/00-40, H01L21/52, 23/40, H05K3/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, 5965197, A (Lucent Technologies Inc.), 12 October, 1999 (12.10.99), Claims; column 5, lines 54 to 56; column 12, lines 10 to 16; Fig. 2 & EP 856376 A & JP 10-180483 A	1-29
A	US, 5709338, A (Hitachi, Ltd.), 20 January, 1998 (20.01.98), Claims & JP 8-293670 A	1-29
A	JP, 53-61973, A (Fuji Electronic Co., Ltd.), 02 June, 1978 (02.06.78), Claims; page 2, upper left column, line 15 to upper left column, line 5; Fig. 1 (Family: none)	1-29
A	JP, 5-136286, A (Hitachi, Ltd.), 01 June, 1993 (01.06.93), Claims; column 6, lines 6 to 19, 45 to 49; Fig. 1 (Family: none)	1-29

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
28 February, 2002 (28.02.02)

Date of mailing of the international search report
12 March, 2002 (12.03.02)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Faxsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. C17 B23K35/14, H01L21/52

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. C17 B23K35/00-40, H01L21/52, 23/40, H05K3/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US 5965197 A (Lucent Technologies Inc.) 1999.10.12 特許請求の範囲、第5欄第54-56行、第12欄第10-16行、図2&EP 856376 A&JP 10-180483 A	1-29
A	US 5709338 A (Hitach, Ltd) 1998.01.20 特許請求の範囲 &JP 8-293670 A	1-29
A	JP 53-61973 A (富士電機製造株式会社) 1978.06.02 特許請求の範囲、第2頁左上欄15行～左上欄5行、第1図(ファミリーなし)	1-29
A	JP 5-136286 A (株式会社日立製作所) 1993.06.01 特許請求の範囲、第6欄第6-19行、第45-49行、図1(ファミリーなし)	1-29

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
28.02.02

国際調査報告の発送日

12.03.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

小川 武

印

4K 9270

電話番号 03-3581-1101 内線 3435